

# Oportunidades da aplicação do *Lean Thinking* na construção

*Opportunities for the application of Lean Thinking in construction*

Flávio Augusto Picchi

## Resumo

**E**ste trabalho visa identificar, de maneira sistemática, as oportunidades de aplicação do *Lean Thinking* (Mentalidade Enxuta) no setor da construção como um todo, bem como comparar o potencial de aplicação dos princípios e ferramentas *lean* com abordagens sugeridas em estudos já desenvolvidos. Para esta análise, parte-se da identificação, a partir da literatura, dos princípios e elementos fundamentais do *Lean Thinking* como forma de se entender a correta aplicação das ferramentas disponíveis. As oportunidades de aplicação são então abordadas, cruzando-se os princípios e elementos fundamentais e os fluxos da construção: negócios, projeto, obra, suprimentos, uso e manutenção. Alguns estudos realizados são analisados em relação a esta estrutura de referência. O trabalho conclui apontando importantes oportunidades de aplicação ainda não exploradas, comprovando a utilidade do enfoque para identificar lacunas e prioridades para futuros estudos, bem como para compreensão das aplicações de ferramentas em um contexto maior, facilitando o aprofundamento da adaptação do *Lean Thinking* ao setor de construção.

**Palavras-chave:** mentalidade enxuta, construção enxuta, racionalização, produtividade, Sistema Toyota de Produção, fluxos de construção

## Abstract

*This work aims to systematically assess opportunities to apply Lean Thinking to the construction sector, and to compare the potential of introducing principles and tools with approaches proposed in previous studies. This analysis begins with a literature review on Lean Thinking principles and core elements as a support to understand the correct application of existing tools. Potential application is examined by crossing lean core elements with each construction flow: business, design, job site, supply, use and maintenance. Existing studies are analysed within the same framework. The paper concludes by pointing out major opportunities yet unexplored, indicating that this approach is useful to identify gaps in research and applications, as well as understand the use of tools in a broader context, supporting the adaptation of Lean Thinking to construction.*

**Keywords:** *Lean Thinking, lean construction, rationalization, productivity, Toyota Production System, construction flows*

Flávio Augusto Picchi

Departamento de Arquitetura e  
Construção, Faculdade de Eng.  
Civil (DAC/FEC), Universidade  
de Campinas

Lean Institute Brasil  
R. Vergueiro, 3086 cj. 112  
Vila Mariana, São Paulo  
04102001, SP - Brasil  
e-mail:  
fpicchi@fec.unicamp.br

Recebido em 03/01/03  
Aceito em 17/07/03

## Introdução

O conceito *Lean Thinking* (ou Mentalidade Enxuta<sup>1</sup>) baseia-se no Sistema Toyota de Produção, também conhecido por sua sigla em inglês, TPS. Foi desenvolvido em ambiente de manufatura, mais especificamente na indústria automobilística. O termo *lean* (enxuto) foi adotado visando a caracterizar este novo paradigma de produção que, em comparação ao paradigma da produção em massa, utiliza:

*metade do esforço dos operários em fábrica, metade do espaço de fabricação, metade do investimento em ferramentas, metade das horas de planejamento para desenvolver novos produtos em metade do tempo. Requer também bem menos da metade dos estoques atuais de fabricação, além de resultar em bem menos defeitos e produzir uma maior e sempre crescente variedade de produtos (WOMACK; JONES; ROOS, 1992, p. 3).*

Desde que Womack et al. (1992) chamaram a atenção para este novo paradigma da produção, diversos setores dedicaram grande atenção às possibilidades de aplicações em seus ambientes. A construção é um setor extremamente complexo, bem diferente da manufatura. Desde o trabalho pioneiro de Koskela (1992), diversos pesquisadores e empresas têm buscado interpretar os conceitos para este ambiente, bem como realizar aplicações práticas (por exemplo, KOSKELA, 2000; HOWELL, 1999; BALLARD; HOWELL, 1998; SANTOS, 1999; ISATTO et al., 2000). Várias discussões e casos podem ser encontrados nos Anais de Encontros Anuais do International Group for Lean Construction (IGLC)<sup>2</sup>, tratando da aplicação em diversos assuntos, tais como projeto, suprimentos e obra.

Sendo o *Lean Thinking* bastante amplo e o setor de construção complexo e diversificado, diversas são as aplicações potenciais deste conceito, e é de se esperar que haja diversas oportunidades de aplicação não exploradas até o momento. Este trabalho visa identificar, de maneira sistemática, as oportunidades de aplicação do *Lean Thinking* no setor da construção como um todo, bem como comparar esta aplicação dos princípios e

ferramentas *lean* e os trabalhos até hoje desenvolvidos.

Foi adotada uma estrutura para análise sistemática das oportunidades de aplicação da Mentalidade Enxuta no setor da construção. A visão sistêmica propiciada por essa discussão ajuda a entender as complexas relações que existem entre os princípios e ferramentas, auxiliando na identificação de lacunas e prioridades para futuros estudos. Para tanto, partiremos de uma rápida revisão das bases da Mentalidade Enxuta, identificando elementos fundamentais, intermediários entre os princípios e as ferramentas, que servirão de base para a análise. As oportunidades de aplicação são então abordadas, cruzando-se os elementos fundamentais e os fluxos da construção, comparando-se com os estudos e aplicações realizados até o momento. O trabalho conclui com a identificação da utilidade da aplicação do enfoque para identificação de possibilidades futuras de aplicação, demonstrando as lacunas existentes, bem como para avançar nas aplicações de *Lean Thinking* na construção, melhorando o entendimento das ferramentas em um contexto maior.

## Princípios da Mentalidade Enxuta

O Sistema Toyota de Produção (TPS) foi desenvolvido ao longo de décadas, através de tentativa e erro (FUJIMOTO, 1999). A destacada competitividade que o sistema apresenta levou ao grande interesse de estudiosos e empresas em compreendê-lo e aplicá-lo (WOMACK; JONES; ROOS, 1992). A forma tácita como os conhecimentos são transmitidos na empresa onde foi desenvolvido, dificultam sua completa compreensão. Ohno (1988), considerado o idealizador do TPS, define a base do sistema como a absoluta eliminação do desperdício, suportada por dois pilares: *just-in-time* e autonomia. *Just-in-time* é o sistema no qual algo somente é produzido no momento necessário, puxado pela demanda do processo anterior e, em última instância, pelo cliente final. Autonomia tem o sentido de automação com interferência humana, e abrange o aumento de produtividade através da separação dos tempos das atividades das máquinas e de seus operadores, possibilitada por mecanismos tais como a parada automática de máquina, impedindo que erros sejam produzidos em série (OHNO, 1988).

<sup>1</sup> São utilizados no presente trabalho os termos em inglês *lean* e *Lean Thinking*, já largamente difundidos, seguindo sugestão do glossário proposto pelo LIB (2003) de evitar a tradução para enxuto e Mentalidade Enxuta, os quais podem trazer confusões de interpretação.

<sup>2</sup> Disponíveis em ALARCÓN (1997) e no site do IGLC: <http://cic.vtt.fi/lean/conferences.htm>

A base conceitual estabelecida por Ohno (1988) é fundamental, exigindo, entretanto, o conhecimento de maiores detalhes sobre o sistema e suas formas de aplicação para sua replicação em outras empresas. Com este objetivo, diversos autores estudaram o TPS, fornecendo descrições de suas principais ferramentas<sup>3</sup>, tais como: Shingo (1989), Monden (1998), Schonberger (1982) e Suzaki (1987). Diversos autores, tais como Shook (1997) e Rother (1997), apontam a necessidade de uma compreensão integrada das ferramentas e da filosofia que deve estar por trás das mesmas, quando se deseja desenhar sistemas *lean* de trabalho em uma empresa. Por filosofia, estes autores se referem aos objetivos maiores, princípios e conceitos generalizáveis.

Particularmente na construção, setor com características diversas do ambiente de manufatura onde o TPS foi desenvolvido, torna-se difícil a simples aplicação direta de ferramentas, sem antes entender conceitos mais gerais que as geraram em seu ambiente original, de forma a poder desenvolver ferramentas específicas ou adaptar as existentes, considerando-se as particularidades da construção (KOSKELA; VRIJHOEF, 2000; PICCHI, 2001a e b). Entre os esforços recentes de generalizar o TPS e entender seus fundamentos podem ser destacados os trabalhos de Womack e Jones (1998), Spear e Bowen (1999) e Fujimoto (1999). Womack e Jones (1998) são os criadores do termo *Lean Thinking* (Mentalidade Enxuta), ampliando, para toda a empresa, os conceitos de *Lean Production* que haviam sido apresentados em Womack et al. (1992). Esses autores estabelecem as bases da Mentalidade Enxuta em cinco princípios.

Spear e Bowen (1999) estudaram empresas americanas que aplicaram as ferramentas do TPS, mas não atingiram o mesmo desempenho que a Toyota, buscando entender aspectos sutis que pudessem influenciar os resultados. Identificaram quatro “regras” não explícitas que estão por trás do TPS, sendo consideradas pelos autores como fatores fundamentais de sucesso. Fujimoto (1999) analisa o TPS do ponto de vista evolutivo, analisando a gênese das principais ferramentas do sistema, e identifica três níveis de capacidades da empresa que explicam e mantêm a alta performance e melhoria contínua.

---

<sup>3</sup> Foi utilizado neste trabalho o termo ferramentas para designar técnicas sistematizadas e rotinizadas para treinamento e comunicação, tais como *kanban* (sistema de cartões que comanda a produção puxada) e 5S (organização e limpeza do ambiente de trabalho).

Apresenta-se no Quadro 1 um resumo dos princípios, regras e capacidades, conforme formulados por estes autores. Embora com focos e terminologia diferentes, os três enfoques buscam compreender os níveis de maior generalização do TPS. Deve-se ressaltar mais uma vez que o *Lean Thinking* pode ser entendido como a generalização do TPS (WOMACK; JONES, 1998), estando apresentados no Quadro 1 seus principais conceitos, a partir dos quais diversas ferramentas foram desenvolvidas.

São adotados como estrutura básica para este trabalho os cinco princípios de Womack e Jones (1998), mais amplos e largamente adotados em diversos setores industriais, buscando incorporar no entendimento dos mesmos os enfoques de Spear e Bowen (1999) e Fujimoto (1999). Observa-se ainda que os cinco princípios de Womack e Jones (1998) abrangem explicitamente tanto os conceitos de Valor como de Fluxo adotados por Koskela (2000). O conceito de Transformação do mesmo autor recebe diversas críticas de autores ligados ao *Lean Thinking*, quanto à busca de otimizações pontuais, sem relação com melhorias no fluxo (ROTHER; SHOOK, 2000; KOSKELA, 2000). A adoção de melhorias nas operações individuais (base do conceito de Transformação) não é, entretanto, desconsiderada nos enfoques *lean*, mas fica subordinada às melhorias sistêmicas (ROTHER; SHOOK, 2000). Desta forma, entende-se que *Lean Thinking*, baseado nos cinco princípios adotados, abrange os três conceitos de Transformação/Valor/Fluxo de Koskela (2000), e não apenas o conceito de Fluxo, como considerado por este autor.

## As ferramentas e suas relações com os princípios e elementos fundamentais do *Lean Thinking*

Entre os princípios, no nível superior, e as ferramentas, na base de uma hipotética pirâmide de organização do conhecimento sobre *Lean Thinking*, diversas relações podem ser identificadas. A identificação de conceitos em níveis intermediários entre os princípios mais gerais e as ferramentas tem sido frequentemente utilizada na busca da compreensão dessas inter-relações, tanto por autores que estudaram o TPS de maneira geral (MONDEN, 1998; SCHOMBERGER, 1982; SUZAKI, 1987; SHINGO, 1989), quanto por aqueles que discutem

sua aplicação na construção (KOSKELA, 1992; SANTOS, 1999; PICCHI, 2001a). Neste trabalho será adotado o termo elementos fundamentais para designar estes conceitos em nível intermediário. Esta relação entre ferramentas, elementos fundamentais e princípios é complexa e comporta diferentes visões, devido a diversos fatores:

- (a) forte relação das diversas ferramentas com mais de um princípio;
- (b) forte sinergia entre os princípios;
- (c) dificuldade de precisar os limites entre alguns elementos fundamentais e ferramentas (por exemplo, gerenciamento visual pode ser entendido como elemento fundamental e como uma ferramenta);
- (d) possibilidades de estabelecimento dos elementos fundamentais em diversos sub-níveis ou agrupamentos.

Por estas razões, diversas formas de se estabelecer estes elementos fundamentais têm sido propostas, podendo haver diferentes formas justificáveis.

Koskela (1992) apresenta onze princípios heurísticos para projeto e melhoria de fluxo de processo, identificados pelo autor como presentes em diversos campos de uma nova filosofia de produção. Esse autor lista, para cada princípio, diversos enfoques práticos, que equivalem ao que se denomina de ferramentas neste trabalho. Os princípios propostos por Koskela (1992) têm servido de base para diversos trabalhos que buscam a aplicação prática dos princípios do *Lean Thinking* na construção (por exemplo, SANTOS, 1999; ISATTO et al., 2000).

Os onze princípios de Koskela (1992) foram propostos antes do trabalho de Womack e Jones (1998), o qual propôs cinco princípios hoje

Quadro 1 - Comparação entre três enfoques de generalização do TPS.

Womack e Jones (1998)	Spear e Bowen (1999)	Fujimoto (1999)
<b>Valor</b> - Entender o que é valor para o cliente e oferecer maior valor agregado, sem desperdícios		
<b>Fluxo de Valor</b> - Identificar e eliminar desperdícios ao longo de toda a cadeia de valor, da matéria prima ao cliente final		
<b>Fluxo</b> - produção em fluxo, estável, sem interrupções	<b>Caminho:</b> para todo produto e serviço, deve ser simples e direto <b>Trabalho:</b> deve ser altamente especificado quanto a conteúdo, seqüência, ritmo, saídas	<b>Capacidade de manufatura rotinizada</b> – forma padronizada de realizar atividades em todos os processos da empresa
<b>Puxar</b> - produzir somente quando demandado pelo cliente ou processo posterior	<b>Conexões:</b> todas comunicações devem ser diretas e sem ambigüidades	
<b>Perfeição</b> – melhoria contínua através da rápida detecção e solução de problemas na base	<b>Melhorias:</b> devem ser feitas usando um método científico, no mais baixos níveis hierárquicos da organização	<b>Capacidade de aprendizado rotinizado</b> – rotinas para identificação e solução de problemas e retenção da solução <b>Capacidade de aprendizado evolutivo</b> –aprendizado intencional e oportunístico de lidar com mudanças e construir as capacidades rotinizadas de manufatura e aprendizado

largamente disseminados e adotados em diversos setores industriais. Pode-se dizer que os princípios propostos por Koskela (1992) enquadram-se em um nível de maior detalhamento dentro do que é designado, no presente trabalho, de elementos fundamentais e de ferramentas. Isto dificulta a compreensão das diversas relações existentes entre as ferramentas *lean* e destas com os princípios mais gerais do *Lean Thinking*.

No Quadro 2 é proposta uma visão esquemática de integração, desde os objetivos gerais<sup>4</sup> do *Lean Thinking* até ferramentas, passando pelos cinco princípios de Womack e Jones (1998) e pelo nível intermediário de elementos fundamentais.

Neste quadro algumas ferramentas são citadas somente como exemplos<sup>5</sup>. As mesmas foram listadas ao lado do elemento fundamental com o qual está mais relacionada, ressaltando-se que muitas ferramentas têm relação com mais que um elemento fundamental e mais de um princípio.

Os elementos fundamentais propostos no Quadro 2 foram selecionados com base na literatura sobre *Lean Thinking*, sendo dados abaixo exemplos de referências que embasaram a adoção dos mesmos:

- (a) *Pacote produtos/serviços de valor ampliado*: destacado por Womack e Jones (1998).
- (b) *Redução de lead times*: Liker considera este aspecto na própria definição do TPS: “uma filosofia de manufatura que encurta o tempo entre o pedido do cliente e a entrega, através da eliminação de desperdícios” (LIKER, 1997, p.7).
- (c) *Produção em fluxo*: considerada a primeira prioridade, quando se desenha sistema de produção *lean* (ROTHER; SHOOK, 2000); autonomia, referida por Ohno (1988) como um dos pilares do TPS, é aqui entendida como sub-elemento da produção em fluxo (ROTHER; HARRIS, 2002).
- (d) *Trabalho padronizado*: considerado a base do TPS (SHOOK, 1997).
- (e) *Produção e entrega just-in-time*: um dos pilares do TPS, conforme Ohno (1988).
- (f) *Recursos Flexíveis*: uma das bases do TPS, segundo Fujimoto (1999); poderia também ser considerado um elemento fundamental de segundo nível, como viabilizador da produção e entrega *just-in-time*.

<sup>4</sup> Estes objetivos são apresentados da forma como são interpretados pelo autor, uma vez que não existe consenso na literatura sobre os mesmos.

<sup>5</sup> A definição destas e outras ferramentas pode ser encontrada em LIB (2003).

(g) *Aprendizado*: destacado por Spear e Bowen (1999) e Fujimoto (1999).

(h) *Foco comum*: ressaltado por Shook (1997).

Em Picchi (2001a e b) é apresentado um detalhamento destes elementos fundamentais, com mais um nível de subdivisão antes das ferramentas. Nessa subdivisão, por exemplo, transparência foi considerada como um elemento em segundo nível, embasando o trabalho padronizado, e gerenciamento visual como uma ferramenta relacionada a este elemento; outra opção, também justificável, seria considerar transparência no mesmo nível que os elementos fundamentais aqui listados.

No Quadro 3 é apresentada uma relação dos onze princípios de Koskela (1992) com os elementos fundamentais propostos no Quadro 2. Para esta comparação, os princípios foram classificados em dois níveis, sendo o nível 1 mais geral e o nível 2 mais operacional (esta divisão não é adotada por Koskela (1992) que apresenta os onze princípios sem hierarquização ou classificação). Observa-se que os princípios de Koskela (1992) no nível 1 são muito semelhantes a alguns elementos fundamentais aqui adotados e os do nível 2 tratam de aspectos mais específicos, aproximando-se de ferramentas.

## Oportunidades de aplicação do *Lean Thinking* na construção

### Fluxos da construção

O setor de construção é bastante complexo e diversificado, abrangendo diversos agentes, em diferentes possibilidades de combinação, atuando em diversas etapas de um empreendimento (PICCHI, 2000). Para melhor analisar a aplicação do *Lean Thinking* é preciso que sejam entendidos seus diversos fluxos, coerentemente com o enfoque *lean* de aplicação por fluxo. Womack (2000) aponta que o *Lean Thinking* é aplicável a toda a empresa, devendo ser analisado pelo menos em relação a três fluxos básicos existentes na maioria das empresas:

- (a) projeto (da concepção até consumidores);
- (b) construção (do pedido à entrega, combinado o fluxo de informações do pedido ao recebimento e o fluxo físico, da matéria prima à entrega);

(c) sustentação (uso ao longo do ciclo de vida até a reciclagem).

Considerando-se cada empresa envolvida no setor de construção, estes mesmos fluxos seriam facilmente identificáveis. Tendo-se, entretanto, em mente, a interação dos diversos agentes do setor na realização de empreendimentos, tornam-se necessárias adaptações nessa nomenclatura. Adotou-se, para este trabalho, a divisão proposta

em Picchi (2001a) em cinco fluxos, representados na Figura 1.

Esta representação guarda relação com nomenclatura correntemente adotada no setor para sistemas da qualidade (PICCHI, 1993) e pode ser entendida como uma adaptação da nomenclatura geral usada no *Lean Thinking* (PICCHI, 2000, 2001a, 2001b). Os fluxos propostos abrangem:

**Quadro 2 - Uma visão das conexões entre objetivos, princípios, elementos fundamentais e ferramentas lean (baseado em PICCHI, 2001a)**

<b>Objetivos</b>	<b>Princípios</b>	<b>Elementos fundamentais</b>	<b>Exemplos de ferramentas</b>
<p>Melhorar continuamente a competitividade da empresa, através de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- eliminação dos desperdícios;</li> <li>- consistente-mente atender aos requisitos dos clientes em variedade, qualidade, quantidade, tempo, preço</li> </ul>	VALOR	Pacote produto/serviço de valor ampliado	- Variedade de produtos planejada
		Redução de <i>lead times</i>	- Engenharia simultânea
	FLUXO DE VALOR	Alta agregação de valor na empresa estendida	- Mapeamento do fluxo de valor - Parcerias com fornecedores
		FLUXO	Produção em fluxo
	Trabalho padronizado		- Gráfico de Balanceamento de operador - Gerenciamento visual
	PUXAR	Produção e entrega <i>just-in-time</i>	- Takt Time (ritmo da demanda) - Kanban - Nivelamento da Produção
		Recursos flexíveis	- <i>Set-up</i> rápido - Equipamentos flexíveis - Multifuncionalidade de operadores
	PERFEIÇÃO	Aprendizado rápido e sistematizado	- Equipes autogerenciáveis - Cinco por quês - Programa de sugestões - 5S
		Foco comum	- Compromissos da Direção da empresa com os funcionários - Treinamento de todos na empresa e fornecedores nos princípios e ferramentas <i>lean</i> - Simplicidade na comunicação

Quadro 3 - Comparação entre os cinco princípios de Womack e Jones (1998) e elementos fundamentais adotados neste trabalho e os princípios de Koskela (1992).

Cinco Princípios do <i>Lean Thinking</i> (WOMACK; JONES, 1998)	Elementos fundamentais	Onze Princípios para desenho de processos (KOSKELA, 1992)	
		Nível 1	Nível 2
VALOR	Pacote produto/serviço de valor ampliado	- aumentar o valor do produto através da consideração sistemática dos requisitos dos clientes	
	Redução de <i>lead times</i>	- reduzir o tempo de ciclo	
FLUXO DE VALOR	Alta agregação de valor na empresa estendida	- Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor	- simplificar através da redução de passos, partes e ligações - Focar o controle no processo global - Manter equilíbrio entre melhorias de fluxo e nas conversões
FLUXO	Produção em fluxo		- Reduzir a variabilidade
	Trabalho padronizado		- Aumentar a transparência do processo
PUXAR	Produção e entrega <i>just-in-time</i>		
	Recursos flexíveis	- aumentar a flexibilidade de saída	
PERFEIÇÃO	Aprendizado rápido e sistematizado	- Introduzir melhoria contínua no processo	- Fazer <i>benchmarking</i>
	Foco comum		

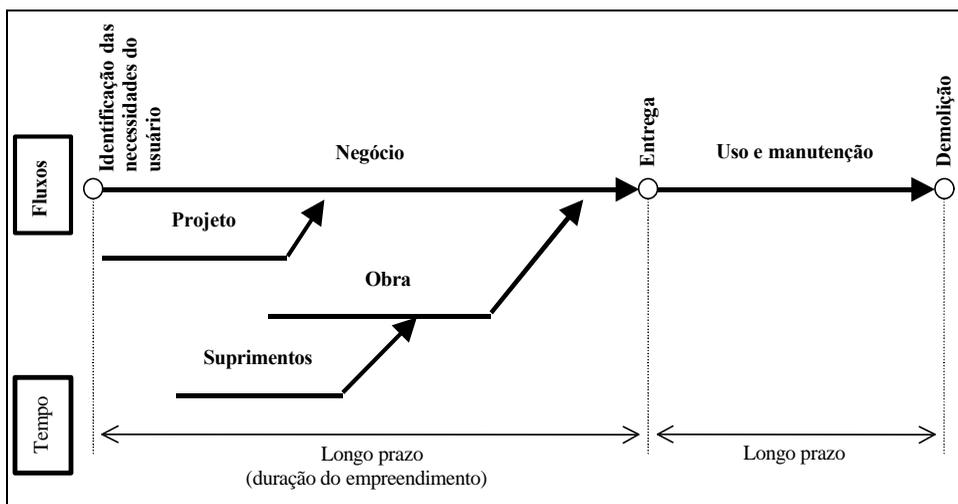


Figura 1 - Fluxos na construção (PICCHI, 2001a)

- (a) *Fluxo de negócio*: liderado pelo contratante (ou incorporador), compreende desde a identificação de necessidades, planejamento geral do empreendimento, aprovações em prefeitura e concessionárias, obtenção de financiamento, contratações, monitoramento do projeto e construção, recebimento da construção e entrega da mesma ao usuário final.
- (b) *Fluxo de projeto*: em geral liderado pelo arquiteto, envolve o contratante (identificação de necessidades e briefing) e os demais projetistas como principais participantes.
- (c) *Fluxo de obra*: liderado pela empresa construtora, geralmente utilizando um elevado grau de sub-contratação.
- (d) *Fluxo de suprimentos*: liderado pela empresa construtora, envolve todos os fornecedores de materiais e serviços e seus sub-fornecedores.
- (e) *Fluxo de uso e manutenção*: começa após a entrega, e equivale ao fluxo sustentação da manufatura. Este fluxo compreende uso, operação e manutenção, assim como reparo, reforma, remodelagem e demolição. As empresas envolvidas neste fluxo são, em geral, diferentes das envolvidas nos fluxos anteriores à entrega da obra.

Cabe uma comparação com o *Lean project delivery system*, proposto por Ballard (2000a). Embora esse autor não use o termo fluxos de construção, sua proposta busca uma visão abrangente do setor. Observa-se quatro fases (*project definition, lean design, lean supply, lean assembly*), as quais apresentam módulos, sendo alguns pertencentes a duas fases adjacentes. As fases *design, supply e assembly* têm correspondência com os fluxos projeto, suprimentos e obra propostos neste trabalho. A fase *project definition* tem um módulo (*needs and values*) de interface com o fluxo de negócio, não sendo focados outros aspectos desse fluxo, como, por exemplo, financiamento e entrega. O fluxo uso e manutenção não é focado, uma vez que o *Lean project delivery system* vai até a entrega da obra (existe um módulo, *post-occupancy evaluation*, que trata do feedback). Observa-se que o uso dos cinco fluxos de construção adotados neste trabalho possibilita abranger todas as fases propostas por Ballard (2000a), apresentando maior amplitude nos fluxos de negócio e uso e manutenção.

## Estrutura para análise

Conforme abordado anteriormente, é difícil discutir-se, para a construção, a aplicação direta

das ferramentas desenvolvidas para o *Lean Thinking* em ambientes de manufatura. É mais fácil a adaptação a partir de níveis mais generalizados, como os princípios e elementos fundamentais abordados anteriormente.

Adota-se, para este trabalho, uma estrutura matricial de análise, tendo-se nas linhas os princípios e seu desdobramento em elementos fundamentais, e nas colunas os fluxos da construção. O objetivo desta análise não é esgotar todas as possibilidades, mas sim mostrar que existem muitas oportunidades de aplicação. Entende-se como oportunidade de aplicação uma aplicação adaptada de ferramentas *lean* existentes, cujo potencial de trazer resultados para o setor de construção é grande, seja por já ter sido aplicada e relatada em literatura, seja pela análise teórica de seus possíveis benefícios de aplicação no ambiente da construção; a comprovação de sua aplicabilidade e efetividade de resultados deve ser objeto de estudos futuros. Observa-se, entretanto, que este método tem capacidade de gerar um retrato bem próximo do real potencial de uso de ferramentas em ambientes diversos daqueles onde foram desenvolvidas, como observado no trabalho de Santos (1999). Esse autor levantou, através de método semelhante, diversas ferramentas *lean* possíveis de serem usadas em obras, relacionadas à redução de tempo de ciclo, redução de variabilidade, aumento de transparência, melhoria contínua. Observando detalhadamente a aplicação destas ferramentas em seis obras de dois países, aquele autor constatou para praticamente todas as ferramentas a sua utilidade para a construção, seja por sua utilização com resultados, seja pela constatação de que a sua não utilização levou a problemas previstos (SANTOS, 1999).

O presente trabalho limita-se a destacar algumas oportunidades de aplicações de maior impacto esperado para cada fluxo e princípio, tomando como base o levantamento completo de oportunidades discutido em Picchi (2001a e b), o qual apresenta diversos exemplos de oportunidades de aplicação de ferramentas *lean* em cada célula da matriz de análise adotada (elemento fundamental x fluxo da construção).

Para as aplicações para as quais existam exemplos relatados na literatura, estes serão citados como ilustração, sem intenção de realizar um levantamento completo de todos os exemplos, mas somente para identificar as tendências predominantes das aplicações e proposições observadas até o momento. Isto possibilitará a compreensão de trabalhos já realizados numa visão

sistêmica de *Lean Thinking* aplicado à construção, bem como a identificação de oportunidades não exploradas ou pouco exploradas até o momento.

## Principais oportunidades - análise por fluxo da construção

### Fluxo de negócio

O fluxo de negócio não apresenta até o momento praticamente nenhum relato de tratamento na literatura do ponto de vista do *Lean Thinking*. Isto pode ser um reflexo da compreensão parcial do *Lean Thinking*, mesmo em setores de produção em série, refletido pelo uso de termos tais como *Lean Production* ou *Lean Manufacturing*. A compreensão atual ressalta que o *Lean Thinking* se aplica à empresa toda, sendo na realidade um sistema de negócios e não somente de produção (WOMACK; JONES, 1998).

O Fluxo de Negócios é o de maior duração dentro da cadeia produtiva de um empreendimento, englobando todo o seu desenvolvimento. Além disso, ele ainda sofre interferência dos fluxos de projeto, de obra e de suprimentos (PICCHI, 2000). Este fluxo abrange basicamente atividades administrativas, nas quais praticamente somente informação é transferida. A aplicação do *Lean Thinking* em ambientes administrativos se encontra em estágios iniciais, mas os estudos pioneiros indicam que as ferramentas desenvolvidas em fábrica podem ser adaptadas e resultados significativos podem ser obtidos (SHOOK, 2003; PICCHI, 2002).

Muito tem sido feito nos últimos anos em melhorias em obras, que possibilitam um menor prazo de execução. O fluxo de negócio, entretanto, permanece muito pouco explorado, mantendo prazos muitas vezes maiores que os de obra, dependidos entre aprovações em concessionárias de serviços públicos, prefeituras, aprovações de financiamentos, registros em cartórios.

Podem ser destacadas as seguintes oportunidades de aplicação:

(a) *Fluxo de Valor*: a aplicação da ferramenta mapeamento de fluxo de valor (ROTHER; SHOOK, 2000) e macro-mapeamento (WOMACK; JONES, 2002), abrangendo todos os agentes da cadeia envolvida, serviria para identificar formas de se reduzir desperdícios e melhorar o fluxo da informação, além de dar a base para identificação da forma integrada de aplicação de todas as demais ferramentas.

(b) *Fluxo*: aplicação de ferramentas que otimizem o fluxo interno de cada agente e entre agentes, por exemplo, trabalho em célula, como já é feito de forma integrada para alguns serviços públicos (AGUNE, 2002).

(c) *Valor*: com a redução do *lead time* tanto do fluxo de negócios quanto de obra, empreendedores podem oferecer produtos em menores prazos, atendendo a demandas de segmentos específicos. Na linha de pacote de produtos/serviços de valor ampliado, a integração de serviços imobiliários, de projeto, construção e financeiros enfatizaria a busca de oferecimento de solução ao cliente, discutida por Womack e Jones (1998).

### Fluxo de projeto

O entendimento do que seriam as principais características de um projeto *lean* é algo que vem sendo buscado posteriormente aos diversos estudos e aplicações que já foram realizados quanto à aplicação de *lean* na produção. Desta forma, seu conhecimento não é ainda completo, destacando-se os trabalhos de Sobek et al. (1998 e 1999) e Ward et al. (1995) para sua compreensão. Dentre os elementos destacados por estes autores, pode-se citar: a engenharia simultânea baseada em conjuntos de soluções, o foco no desenvolvimento de conhecimento que agregue valor ao cliente, a liderança de projeto forte e empreendedora, o time de especialistas com responsabilidade e autonomia ampliadas e o gerenciamento do projeto como um fluxo puxado.

Diversos trabalhos são encontrados na literatura, analisando as formas de adaptação de diversas das ferramentas *lean* ao projeto na construção, dentre os quais pode-se citar:

(a) Valor:

- uso de QFD (Quality Function Deployment) para melhor identificação e tradução dos requisitos dos clientes (BALLARD; ZABELLE, 2000a; GARGIONE, 1999);
- uso de engenharia simultânea (FABRÍCIO, 2002; MESQUITA et al., 2002).

(b) Fluxo de Valor:

- processo de decisão (WHELTON et al., 2001);
- interação entre os diversos agentes e diversas possibilidades de aplicação do *lean* a projetos de construção (BALLARD; ZABELLE, 2000b; KOSKELA et al., 2002; TZORTZOPOULOUS; FORMOSO, 1999);

- integração de sub-empregados especializados o mais cedo possível no projeto (MILES; BALLARD, 2002);
- mapeamento do fluxo de valor em projeto (FREIRE; ALARCÓN, 2000).

(c) Fluxo:

- planejamento e ordenamento da seqüência de atividades (KOSKELA et al., 1997; TZORTZOPOULOS et al., 2001; TZORTZOPOULOS et al., 2002; BALLARD, 2000b).

(d) Puxar:

- uso de *Last Planner* em projeto (BALLARD, 1999a);
- uso de informação puxada a partir de banco de dados (FREIRE; ALARCÓN, 2000).

Poucos destes são casos piloto de aplicação isolada de algumas ferramentas, sendo a maioria análises apontando formas de se adaptar os conceitos gerais de projeto utilizados em manufatura à realidade da construção. Pode-se perceber que se encontra ainda em evolução o entendimento do que seria uma ampla aplicação na construção de *lean* em projetos, questão essa ainda nem mesmo totalmente entendida no ambiente de empresas de manufatura.

São exemplos de oportunidades a serem exploradas em trabalhos futuros:

- (a) aprofundamento do entendimento do que é *lean* aplicado a projetos e de sua adaptação ao setor de construção;
- (b) maior ampliação da aplicação prática das ferramentas *lean* em projetos de construção;
- (c) busca de aplicações mais integradas, abrangendo os diferentes elementos fundamentais.

### Fluxo de Suprimentos

Algumas diferenças entre as relações comprador-fornecedor, em empresas que adotam o *Lean Thinking*, comparativamente ao enfoque predominante da produção em massa, são (WOMACK et al., 1992; COOPER; SLAGMULDER, 1999): parcerias, redução da base de fornecedores, aprendizado mútuo, esforço conjunto na redução de desperdícios, entregas e produção *just-in-time*, qualidade garantida. Uma tendência bastante recente é a aplicação do mapeamento do fluxo de valor (ROTHER; SHOOK, 2000) de maneira ampliada, abrangendo

todos os fornecedores e seus sub-fornecedores ao longo de toda cadeia, ferramenta conhecida como macro-mapeamento (WOMACK; JONES 2002).

Diversos autores têm se dedicado à análise da cadeia de fornecedores da construção; O'Brien et al. (2002) fazem uma revisão, referenciando a literatura recente sobre o assunto. Dentre as tendências predominantes, pode-se citar:

(a) Fluxo de valor:

- análises da cadeia de fornecimento e seus desperdícios (VRIJHOEF, 1998; VRIJHOEF et al., 2001; ARBULU; TOMMELEIN, 2002; AZAMBUJA, 2002; TAYLOR; BJÖRNSSON, 2002; LONDON; KENLEY, 2000; CHILDERHOUSE et al., 2000; );
- parceria com fornecedores: (MILLER et al., 2002; CRUTCHER et al., 2001; SHIMIZU; CARDOSO, 2002; JOBIM; JOBIM FILHO, 2001);
- mapeamento de fluxo de valor entre fabricação e instalação (HOLZEMER et al., 2000).

(b) Puxar:

- uso de *just-in-time* com fornecedores (BALLARD; HOWELL, 1995; BERTELSEN, 1997; TOMMELEIN; BALLARD, 1997; TOMMELEIN; LI, 1999; TOMMELEIN; WEISSENBERGER, 1999).

Observa-se nestes exemplos diversas aplicações práticas, em geral isoladas, que podem ser consideradas experiências piloto. Com estas experiências fica comprovada a aplicabilidade e utilidade de ferramentas, como, por exemplo, o mapeamento de fluxo de valor, envolvendo o comprador e um fornecedor, e *just-in-time*. Para trabalhos futuros, pode-se destacar:

- (a) Uso do macro-mapeamento de fluxo de valor, ampliando a abrangência na cadeia de fornecimento, abrangendo mais que um fornecedor.
- (b) Ampliação do uso de entregas em pequenos lotes e *just-in-time*.
- (c) Ampliação do uso do conceito de parceria entre construtor e seus fornecedores, de material e mão de obra.

### Fluxo de obra

Diversos são os relatos presentes na literatura de *lean construction* referentes a discussões e casos

de aplicações de ferramentas *lean* em obras. Destaca-se alguns exemplos:

(a) Fluxo de Valor:

- uso de mapeamento do fluxo de valor, obtenção de reduções do *lead time* (BALLARD, 2001; ALVES; FORMOSO, 2000; BALLARD et al., 2002; ELFVING et al., 2002; ALVES, 2000).

(b) Fluxo:

- análises de diversas ferramentas: estudo em seis casos da aplicação de diversas ferramentas *lean* relacionadas com fluxo (SANTOS, 1999); prospecção de diversas possibilidades de aplicação de ferramentas *lean* (ISATTO et al., 2000), discussão de conceitos relacionados a fluxo em processos de construção (BALLARD; TOMMELEIN, 1999);
- criação de fluxo entre atividades e uso de células de produção (SANTOS; MOSER; TOOKEY, 2002; BALLARD; TOMMELEIN, 1999; HOWELL et al., 1993);
- uso de *poka-yoke* (dispositivos à prova de erros) (SANTOS; POWELL, 1999);
- transparência (FORMOSO; SANTOS, 2002; HEINECK et al., 2002);
- revisão de processos visando simplificação – *work structuring* (BALLARD, 1999b; BALLARD et al., 2001; TSAO et al., 2000; TSAO; TOMMELEIN, 2002);
- padronização (SANTOS; FORMOSO; TOOKEY, 2002);
- influência negativa no fluxo de critérios tradicionais de alocação de recursos (KIM; BALLARD, 2002); uso de *Last Planner* (BALLARD; HOWELL, 1997; BALLARD, 1999b; BALLARD, 2000c; SOARES et al., 2002).

(c) Puxar:

- uso de programação puxada (TOMMELEIN, 1998; YANG; IOANNOU, 2001; HEINECK; MACHADO, 2001).

(d) Perfeição:

Observa-se no setor uma tendência de uso cada vez maior de sistemas da qualidade em construtoras, o que traz algum avanço em padronização das tarefas e melhoria. Observe-se, entretanto, que o trabalho padronizado, como entendido no *Lean Thinking*, vai além da descrição da seqüência de operações,

abrangendo também padronização do ritmo, inventário padrão e *lay-out* (LIB, 2003). A melhoria contínua tem também no *Lean Thinking* a particularidade de ser realizada na base da hierarquia, com rápida detecção e solução de problemas (SHONBERGER, 1982); pode-se, portanto, afirmar que, do ponto de vista do *Lean Thinking*, elementos fundamentais adicionais devem ser implantados, mesmo em empresas com sistemas da qualidade, para que se possa atingir o estágio de melhoria contínua perseguido pelo princípio de perfeição.

Observa-se a existência de casos de aplicação em obras de algumas ferramentas *lean*, via de regra, de maneira pouco integrada (SANTOS, 1999). Estas aplicações piloto são importantes para demonstrar a possibilidade de se utilizar, na construção, ferramentas *lean* desenvolvidas no ambiente de manufatura, com as devidas adaptações; entretanto, resultados mais significativos e sustentáveis serão obtidos com o desenvolvimento de aplicações mais abrangentes e integradas (SANTOS, 1999; WOMACK; JONES, 1998; . ROTHER; SHOOK, 2000).

Como linhas para futuros estudos, pode-se destacar:

(a) Uso do mapeamento de fluxo de valor (ROTHER; SHOOK, 2000) para entendimento dos desperdícios ao longo do processo de realização da obra e identificação da melhor utilização das ferramentas disponíveis.

(b) Aprofundar as possibilidades de aplicação do princípio de fluxo, ressaltada por Rother e Shook (2000) como a primeira prioridade a ser analisada quando se pretende realizar a transformação de um processo na direção *lean*. Para isso, a adaptação de ferramentas, como as descritas em Rother e Harris (2002), pode trazer interessantes resultados.

(c) Aprofundar o entendimento e aplicações práticas dos elementos fundamentais trabalho padronizado e aprendizado rápido e sistematizado.

### Fluxo de uso/manutenção

Da mesma forma que observado para o fluxo de negócio, praticamente nenhum estudo pode ser encontrado tratando da aplicação do *Lean Thinking* no fluxo de uso e manutenção. O fluxo de uso e manutenção inclui todas as atividades do setor que não sejam construção nova, e merece toda a atenção visando eliminação de desperdícios e aumento de produtividade. As atividades deste fluxo crescem com o desenvolvimento dos países e

estão atingindo metade das atividades de construção em países de industrialização avançada (BON; CROSTHWAITE, 2000).

Sendo um campo totalmente inexplorado do ponto de vista do *Lean Thinking*, estudos futuros podem iniciar a reflexão quanto às possibilidades de aplicação dos princípios *lean* a estas atividades; em Picchi (2001a e b) são apresentadas algumas possíveis aplicações, identificadas pelo potencial teórico de aplicação das mesmas a este fluxo.

## Conclusões

O *Lean Thinking* vem se firmando, primeiro na manufatura e, mais recentemente, em outros setores, como o novo paradigma, não só de produção, mas de negócio, uma vez que envolve também desenvolvimento de produto, relação com fornecedores, estratégia de venda e gestão de pessoas.

Apesar das diferenças entre o ambiente de manufatura onde estas ferramentas foram desenvolvidas e a construção, verificam-se grandes possibilidades de aplicação; nos fluxos de projeto, suprimentos e obra, observa-se a existência de discussões e casos relacionados principalmente aos princípios de fluxo e puxar. Isto não significa que as aplicações estejam avançadas nestes fluxos; as aplicações são ainda restritas, podendo ser caracterizadas como projetos piloto. Os fluxos de negócio e uso e manutenção praticamente não receberam ainda a atenção dos pesquisadores e profissionais ligados à busca da implementação do *lean* na construção.

A sistemática de análise, através de matriz cruzando princípios e elementos fundamentais com os fluxos de obra, demonstrou ser útil na identificação de oportunidades de aplicação, para compreender, em uma visão sistêmica do *Lean Thinking*, as proposições e aplicações já realizadas e para identificar linhas de pesquisa para trabalhos futuros.

Enquanto que na manufatura já são observados diversos casos de empresas adotando o *Lean Thinking* como modelo de produção, ou até mesmo de negócio, não se observam ainda na construção aplicações mais amplas e integradas. O *Lean Thinking* é uma complexa combinação de filosofia, sistema e ferramentas, e a má compreensão desta combinação, focando exclusivamente em ferramentas isoladas, é uma das razões mais frequentes de implementações parciais e com resultados limitados. A análise sistematizada

realizada neste trabalho, cruzando-se princípios e elementos fundamentais *lean* com os fluxos da construção, poder ter como uma forma de leitura o estímulo à aplicação fragmentada. Um de seus objetivos, ao contrário, é o de propiciar a compreensão do sentido de cada ação que pode ser aplicada e, em um contexto maior, dos objetivos e princípios do *Lean Thinking*. A experiência de outros setores industriais mostra que a ênfase do princípio fluxo de valor, usando-se a ferramenta de mapeamento de fluxo de valor, é uma importante ferramenta para propiciar essa necessária visão sistêmica.

## Referências

- AGUNE, L. Poupa Tempo: Um novo padrão de atendimento ao cidadão. In: LEAN SUMMIT, 2002, Gramado, RS. **Apresentações...** Gramado: Lean Institute Brasil, 2002.
- ALARCÓN, L. (Ed.) **Lean Construction**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1997.
- ALVES, T.C.L. **Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras**: proposta baseada em estudos de caso. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- ALVES, T.C.L.; FORMOSO, C.T. Guidelines for managing physical flows in construction sites. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8., 2000, Brighton, UK. **Proceedings...** Brighton: IGLC, 2000.
- ARBULU, J. R.; TOMMELEIN, D. I. Value stream analysis of construction supply chains: case study on pipe supports used in power plants. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, Brazil. **Proceedings...** Gramado: UFRGS, IGLC, 2002.
- AZAMBUJA, M.M.B. **Processo de projeto, aquisição e instalação de elevadores em edifícios**: diagnóstico e propostas de melhoria. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- BALLARD, G. Can pull techniques be used in design management? In: CONCURRENT ENGINEERING IN CONSTRUCTION

- CONFERENCE, 1999, Espoo, Finland. **Proceedings...** Espoo, Finland: CIB TG33, VTT, 1999a.
- \_\_\_\_\_. Cycle time reduction in home building. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9., 2001, Singapore. **Proceedings...** Singapore: IGLC, 2001.
- \_\_\_\_\_. Improving work flow reliability. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., 1999, Berkeley, CA. **Proceedings...** Berkeley: IGLC, 1999b.
- \_\_\_\_\_. **Lean Project Delivery System.** [S.l.]: Lean Construction Institute, 2000a. (White Paper, n. 8). Disponível em: <www.lean.org>. Acesso em: 30 de junho de 2003.
- \_\_\_\_\_. Positive vs Negative Interaction in Design. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8., 2000, Brighton, UK. **Proceedings...** Brighton: IGLC, 2000b.
- \_\_\_\_\_. **The last planner system of production control.** 2000. Thesis (Doctor of Philosophy) - School of Civil Engineering, University of Birmingham, Birmingham, 2000c.
- BALLARD, G. et al. **Production System Design: Work Structuring revisited.** [S.l.]: Lean Construction Institute, 2001. (White Paper, n. 11). Disponível em: <www.lean.org>. Acesso em: 30 de junho de 2003.
- BALLARD, G.; HARPER, N.; ZABELLE, T. An application of lean concepts and techniques to precast concrete fabrication. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, BR. **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. Implementing lean construction: stabilizing flow. In: ALARCÓN, L. (Ed.) **Lean Construction.** Rotterdam: A.A. Balkema, 1997.
- \_\_\_\_\_. Toward Construction JIT. In: ASSOCIATION OF RESEARCHERS IN CONSTRUCTION MANAGEMENT CONFERENCE, 1995, Sheffield, England. **Proceedings...** Sheffield, England: ARCOM, 1995.
- \_\_\_\_\_. What kind of production is construction? In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6., 1998, Guarujá, BR. **Proceedings...** Guarujá: IGLC, 1998.
- BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. **Aiming for continuous flow.** [S.l.]: Lean Construction Institute, 1999. (White Paper, n. 5). Disponível em: <www.lean.org>. Acesso em: 30 de junho de 2003.
- BALLARD, G.; ZABELLE, T. **Project definition** [S.l.]: Lean Construction Institute, 2000a. (White Paper, n. 9). Disponível em: <www.lean.org>. Acesso em: 30 de junho de 2003.
- \_\_\_\_\_. **Lean Design: Process, Tools, & Techniques.** [S.l.]: Lean Construction Institute, 2000b. (White Paper, n. 10). Disponível em: <www.lean.org>. Acesso em: 30 de junho de 2003.
- BERTELSEN, S. Just-in-time logistics in the supply of building materials. In: CONFERENCE ON CONSTRUCTION INDUSTRY DEVELOPMENT, 1997, Singapore. **Building The Future Together: proceedings.** Singapore: CID, 1997.
- BON, R.; CROSTHWAITE, D. **The future of international construction.** London: Thomas Telford, 2000.
- CHILDERHOUSE, P.; HONG-MINH, S.M.; NAIM, M.M. House building supply chain strategies: selecting the right strategy to meet customers requirements. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8., 2000, Brighton, UK. **Proceedings...** Brighton: IGLC, 2000.
- COOPER, R.; SLAGMULDER, R. **Supply Chain Development for the lean enterprise: interorganizational cost management.** Portland: Productivity, 1999.
- CRUTCHER, C.A.; WALSH, K.D.; HERSHAUER, J.C.; TOMMELEIN, I.D. Effects of a preferred vendor relationship on an electrical component supplier and electrical contractor: a case study. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9., 2001, Singapore. **Proceedings...** Singapore: IGLC, 2001.
- ELFVING, J.; TOMMELEIN, I.; BALLARD, G. Reducing lead time for electrical switchgear. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, BR. **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002.

- FABRÍCIO, M.M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- FORMOSO, C.T.; SANTOS, A. An exploratory study of process transparency in construction sites. **Journal of Construction Research**, Hong Kong, v. 3, n. 1, p. 35-54, 2002.
- FREIRE, J.; ALARCÓN, L.F. Achieving a lean design process. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8., 2000, Brighton, UK. **Proceedings...** Brighton: IGLC, 2000.
- FUJIMOTO, T. **The evolution of a manufacturing system at Toyota**. New York: Oxford University Press, 1999.
- GARGIONE, L.A. Using Quality Function Deployment (QFD) in the design phase of an apartment construction project. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., 1999, Berkeley, CA. **Proceedings...** Berkeley: IGLC, 1999.
- HEINECK, L.F.M. et al. Transparency in building construction: a case study. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, Brazil. **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002.
- HEINECK, L.F.M.; MACHADO, R.L. A geração de cartões de produção na programação enxuta de curto prazo em obra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 2001, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 2001.
- HOLZEMER, M.; TOMMELEIN, I.; LIN, S. Materials and information flows for HVAC ductwork fabrication and site installation. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8., 2000, Brighton, UK. **Proceedings...** Brighton: IGLC, 2000.
- HOWELL, G. What is lean construction – 1999. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., 1999, Berkeley, CA. **Proceedings...** Berkeley: IGLC, 1999.
- HOWELL, G.; LAUFER, A.; BALLARD, G. Interaction between subcycles: one key to improved processes. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, v. 119, n. 4, p. 714-728, Dec. 1993.
- ISATTO, E.L. et al. **Lean Construction**: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na Construção Civil. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000.
- JOBIM, M.S.S.; JOBIM FILHO, H. Proposta de integração das cadeias de suprimentos da indústria da construção civil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 2001, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 2001.
- KIM, Y.; BALLARD, G. Earned value method and customer earned value. **Journal of Construction Research**, Hong Kong, v. 3, n. 1, p. 55-66, Mar. 2002.
- KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 296 f. Thesis (Doctor of Technology) - Technical Research Centre of Finland, VTT Building Technology, Helsinki, 2000. Disponível em: <<http://www.inf.vtt.fi/pdf/publications/2000/P408.pdf>>. Acesso em: 23 de maio de 2003.
- \_\_\_\_\_. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Stanford, CA: Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, 1992. (Technical Report, n. 72).
- KOSKELA, L.; BALLARD, G.; TANHUAMPÄÄ, V. Towards lean design management. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 5., 1997, Gold Coast. **Proceedings...** Gold Coast, Australia: IGLC, 1997.
- KOSKELA, L.; HUOVILA, P.; LEINONEN, J. Design management in building construction: from theory to practice. **Journal of Construction Research**, Hong Kong, v. 3, n. 1, p. 1-16, Mar. 2002.
- KOSKELA, L.; VRIJHOEF, R. The prevalent theory of construction is a hindrance for innovation. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8., 2000, Brighton, UK. **Proceedings...** Brighton: IGLC, 2000.
- LEAN INSTITUTE BRASIL (LIB). **Léxico lean**: glossário ilustrado para praticantes do pensamento

lean. Tradução de Lean Institute Brasil. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

LIKER, J.K. (Ed.) **Becoming Lean**: inside stories of U.S. manufacturers. Portland, OR: Productivity Press, 1997.

LONDON, K.; KENLEY, R. The development of a neo-industrial organization methodology for describing & comparing construction supply chains. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8., 2000, Brighton, UK. **Proceedings...** Brighton: IGLC, 2000.

MESQUITA, M.J.M.; FABRÍCIO, M.M.; MELHADO, S.B. Concurrent engineering in construction: studies of brief-design integration. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, BR. **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002.

MILES, R.S.; BALLARD, G. Problems in the interface between mechanical design and construction: a research proposal. **Journal of Construction Research**, Hong Kong, v. 3, n. 1, p. 83-95, Mar. 2002.

MILLER, C.J.M.; PACKAHAM, G.A.; THOMAS, B.C. Harmonization between main contractors and subcontractors: a prerequisite for lean construction? **Journal of Construction Research**, Hong Kong, v. 3, n. 1, p. 67-82, Mar. 2002.

MONDEN, Y. **Toyota production system**: an integrated approach to just-in-time. 3rd. ed. Norcross, GA: Engineering & Management Press, 1998.

O'BRIEN, W.; LONDON, K.; VRIJHOEF, R. Construction Supply Chain Modelling: a research review and interdisciplinary research agenda. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, BR. **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002.

OHNO, T. **Toyota Production System**: beyond large-scale production. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

PICCHI, F.A. **Sistemas da Qualidade**: uso em empresas de construção de edifícios. 1993. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

\_\_\_\_\_. Lean principles and the construction main flows. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN

CONSTRUCTION, 8., 2000, Brighton, UK. **Proceedings...** Brighton: IGLC, 2000.

\_\_\_\_\_. Lean Thinking (Mentalidade Enxuta): avaliação sistemática do potencial de aplicação no setor de construção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 2001a.

\_\_\_\_\_. System view of lean construction application opportunities. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9., 2001, Singapore. **Proceedings...** Singapore: IGLC, 2001b.

\_\_\_\_\_. Lean na Administração. In: LEAN SUMMIT, 2002, Gramado, RS. **Apresentações...** Gramado: Lean Institute Brasil, 2002.

ROTHER, M. Crossroads: which way will you turn on the road to lean? In: LIKER, J.K. (Ed.) **Becoming Lean**: inside stories of U.S. manufacturers. Portland, OR: Productivity Press, 1997.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando fluxo contínuo**: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2000.

SANTOS, A. **Application of flow principles in the production management of construction sites**. 1999. Thesis (Doctor of Philosophy) – School of Construction and Property Management, University of Salford, Salford, 1999.

SANTOS, A.; FORMOSO, C.T.; TOOKEY, J.E. Expanding the meaning of standardisation within construction processes. **The TQM Magazine**, Bradford, v. 14, n. 1, 2002.

SANTOS, A.; MOSER, L.; TOOKEY, J.E. Applying the Concept of Mobile Cell Manufacturing on the Drywall Process. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, BR. **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002.

SANTOS, A.; POWELL, J.A. The use of poka-yoke devices in the construction industry. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., 1999, Berkeley, CA. **Proceedings...** Berkeley: IGLC, 1999.

SCHONBERGER, R.J. **Japanese Manufacturing Techniques**. New York: Free Press, 1982.

SHIMIZU, J.Y.; CARDOSO, F.F. Subcontracting and cooperation network in building construction: a literature review. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, BR. **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002.

SHINGO, S. **A study of the Toyota Production System from an industrial engineering point of view**. Translated by Andrew P. Dillon. Cambridge, MA: Productivity Press, 1989.

SHOOK, J.Y. Bringing the Toyota Production System to the United States: a personal perspective. In: LIKER, J.K. (Ed.). **Becoming Lean: inside stories of U.S. manufacturers**. Portland, OR: Productivity Press, 1997.

\_\_\_\_\_. **Helpful Hints on Mapping off the plant floor in Support or Administrative Operations**. Disponível em: <<http://www.lean.org/Community/Registered/Article.cfm?Articled=3>>. Acesso em: 17 março 2003.

SOARES, A.C.; BERNARDES, M.M.S.; FORMOSO, C.T. Improving the production planning and control system in a building company: contributions after stabilization. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, BR. **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002.

SOBEK, D.; LIKER, J.; WARD, A. Another Look at how Toyota Integrates Product Development. **Harvard Business Review**, Cambridge, MA, v. 76, n. 4, p. 36-50, July/Aug. 1998.

SOBEK, D.; WARD, A.; LIKER, J. Principles from Toyota's Set-Based Concurrent Engineering Process. **Sloan Management Review**, Cambridge, MA, v. 40, n. 2, p. 67-83, Winter 1999.

SPEAR, S.; BOWEN, H.K. Decoding the DNA of the Toyota production system. **Harvard Business Review**, Boston, v. 77, n. 5, p. 96-106, Sept./Oct. 1999.

SUZAKI, K. **The new manufacturing challenge: techniques for continuous improvement**. New York: Free Press, 1987.

TAYLOR, J.; BJÖRNSSON, H. Identification and classification of value drivers for a new production homebuilding supply chain. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR

LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, BR. **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002.

TOMMELEIN, I. Pull-driven scheduling for pipe-spool installation: simulation of a lean construction technique. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, v. 124, n. 4, p. 279-288, July/Aug. 1998.

TOMMELEIN, I.; BALLARD, G. **Coordinating specialists**. Berkeley, CA: Construction Engineering and Management Program, Civil and Environment Engineering Department, University of California, 1997. (Technical Report, n. 97-8). Also In: International Seminar on Lean Construction, 2., 1997. **Proceedings...** São Paulo: [s.n.], 1997.

TOMMELEIN, I.; LI, A.E.Y. Just-in-time concrete delivery: mapping alternatives for vertical supply chain integration. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., 1999, Berkeley, CA. **Proceedings...** Berkeley: IGLC, 1999.

TOMMELEIN, I.; WEISSENBERGER, M. More just-in-time: location of buffers in structural steel supply and construction processes. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., 1999, Berkeley, CA. **Proceedings...** Berkeley: IGLC, 1999.

TSAO, C.C.Y. et al. Case study for work structuring: installation of metal door frames. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8., 2000, Brighton, UK. **Proceedings...** Brighton: IGLC, 2000.

TSAO, C.C.Y.; TOMMELEIN, I. Comparing and implementing alternative work structures: installation of door frames. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, BR. **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002.

TZORTZOPOULOS, P.; BETTS, M.; COOPER, R. Product development process implementation: exploratory case studies in construction and manufacturing. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, BR. **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002.

TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C.T. Considerations on Application of Lean Construction Principles to Design Management. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL

GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., 1999, Berkeley, CA. **Proceedings...** Berkeley: IGLC, 1999.

TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C.; BETTS, M. Planning the product development process in construction: an exploratory case study. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9., 2001, Singapore. **Proceedings...** Singapore: IGLC, 2001.

VRIJHOEF, R. **Co-makership in Construction: Towards Construction Supply Chain Management**, 1998. Thesis (Graduate Studies) - Technical Research Centre of Finland, Delft University of Technology, Espoo, Finland, 1998.

VRIJHOEF, R.; KOSKELA, L.; HOWELL, G. Understanding Construction Supply Chains: an alternative Interpretation. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9., 2001, Singapore. **Proceedings...** Singapore: IGLC, 2001.

WARD, A.; LIKER, J.; SOBEK, D.; CRISTIANO, J. The Second Toyota Paradox: how delaying decisions can make better cars faster? **Sloan Management Review**, Cambridge, MA, v. 36, n. 1, p. 43-61, Spring, 1995.

WHELTON, M.; BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. Application of design rationale systems to project definition: establishing a research project. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9., 2001, Singapore. **Proceedings...** Singapore: IGLC, 2001.

WOMACK, J.P. The challenge of value stream

management. In: LEAN ENTERPRISE INSTITUTE VALUE STREAM MANAGEMENT CONFERENCE, 2000, Dearborn, MI **Proceedings...** Dearborn, MI: Lean Enterprise Institute, 2000.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **A Mentalidade Enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

\_\_\_\_\_. **Seeing the Whole: Mapping the Extended Value Stream**. Brookline, MA: Lean Enterprise Institute, 2002.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

YANG, I.; IOANNOU, P.G. Resource-driven scheduling for repetitive projects: a pull-system approach. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9., 2001, Singapore. **Proceedings...** Singapore: IGLC, 2001.

## Agradecimentos

Este trabalho é um dos resultados do programa de pós-doutorado desenvolvido pelo autor no MIT – Massachusetts Institute of Technology, entre julho de 2000 e janeiro de 2001. O autor agradece ao CTPID/MIT – Center for Technology, Police and Industrial Development, instituição na qual o programa foi realizado, assim como à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo, que apoiou o programa através de bolsa de estudos.