



ISBN: 978-85-67169-04-0

# SIBRAGEC ELAGEC 2015

## São Carlos / SP - Brasil - 7 a 9 de outubro

## POTENCIAL DE REDUÇÃO DO PRAZO DE EMPREENDIMENTO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE LINHA DE BALANÇO

**CARDIM, Rafael Fleury (1); PICCHI, Flávio Augusto (2)**

- (1) Fortaleza Construções e Engenharia Ltda e mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, FEC/UNICAMP, +55 62 4009-2555, e-mail: rcardim@gmail.com  
(2) Professor Doutor - LAGERCON - DAC/FEC/UNICAMP e Vice Presidente - Lean Institute Brasil, +55 11 5571-0884, e-mail: fpicchi@lean.org.br

### RESUMO

Atuando em um mercado sabidamente competitivo, algumas empresas construtoras têm buscado melhorias e inovações para se destacarem da concorrência. Nesse contexto, a aplicação dos princípios e ferramentas do *Lean Construction*, podem trazer para a indústria da construção os benefícios do STP. O objetivo deste artigo é fazer uma avaliação do potencial de redução do prazo de um empreendimento através da análise do gráfico de linha de balanço. Para elaboração do artigo foi realizado um estudo de caso em um empreendimento já entregue na cidade de Goiânia - Goiás. Ao final, mediante análise do gráfico de LOB e aplicação dos conceitos *Lean*, verifica-se a viabilidade de (i) redução significativa do prazo do empreendimento, (ii) redução das folgas, (iii) sincronização das atividades e (iv) redução no consumo de mão de obra.

**Palavras-chave:** *Lean Thinking, Lean Construction, Linha de Balanço*

### ABSTRACT

*Within a notoriously competitive market, some construction companies are constantly seeking improvements and innovations in order to distinguish themselves from their competitors. In that sense, the application of the Lean Construction's principles and tools has the potential to provide the benefits of TPS to the construction industry. The purpose of this paper, is to investigate the schedule reduction of an enterprise using the "Line of Balance" graph analysis. The paper analyses a case study that was delivered in Goiânia - Goiás. After having applied "lean" concepts and the LOB graph analysis, the paper concludes that it is viable to obtain (i) significant project schedule reductions, (ii) reduction of project's gaps, (iii) more synchronized activities as well as (iv) reduction of labor costs.*

**Key-words:** *Lean Thinking, Lean Construction, Line of Balance*

## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Diante da realidade competitiva do mercado da construção civil, empresas do segmento buscam se destacar através da pesquisa e implementação de melhorias e inovações, sejam de natureza técnica ou gerencial, através de ferramentas e conceitos que permitam racionalizar custos, aumentar a produtividade e melhorar processos.

Baseada no Sistema Toyota de Produção (STP), idealizado por Ohno (1988), a filosofia *Lean Thinking* pode contribuir de forma significativa, pois tem como base a eliminação do desperdício ao longo do fluxo de valor, encurtando prazos (*lead times*), reduzindo custos e aumentando a qualidade do produto (WOMACK; JONES, 1998). Dessa forma, o *Lean Construction*, aplicação dos conceitos *Lean* na indústria da construção, vem conquistando cada vez mais o interesse de acadêmicos e profissionais do setor, que

enxergam o vasto campo de aplicação dos preceitos da filosofia *Lean* (BYGBALLE; SWÄRD, 2014).

Recentemente associados à aplicação de *Lean Construction*, os gráficos de Linha de Balanço, usados na indústria da construção civil desde a década de 80, auxiliam na avaliação e planejamento tático dos serviços (MOURA ET AL., 2014).

Assim, o objetivo deste artigo é fazer um estudo de caso do potencial de redução do prazo de duração de uma obra através da análise do gráfico da Linha de Balanço Consolidada de um empreendimento já executado, analisando possibilidades de redução de prazo de duração, antecipações de data de início e adequações na taxa de produção das atividades. As implicações e consequências de se colocar em prática as ideias discutidas no presente artigo, são tratadas nas Considerações Finais, assim como as recomendações para trabalhos futuros.

## **2 LEAN CONSTRUCTION E LINHA DE BALANÇO**

A linha de balanço (LOB) é uma técnica de planejamento que exemplifica a metodologia de planejamento baseada em localização (*location-based*) (JONGELING; OLOFSSON, 2007). A LOB é um diagrama de quantidade-tempo e representa graficamente as atividades de um processo sequenciado através do tempo, considerando a natureza repetitiva das atividades. Através da LOB, pode-se inferir importantes informações de um planejamento, como: a) **qual** atividade será executada; b) **onde** essa atividade ocorre; c) **quando** será executada e, dependendo da forma como o gráfico é elaborado, d) **quem** é o responsável (ou equipe responsável) pela execução.

Moura et al. (2014), discutem que a Linha de Balanço é uma ferramenta apropriada para representar e fazer evidente a aplicação de alguns conceitos *Lean*, como: a) **integração dos planejamentos de curto, médio e longo prazo**, por permitir a visualização em um só gráfico de toda a produção distribuída no tempo; b) **nivelamento da produção**, diminuindo os estoques; c) **produção puxada**, ficando claro o conceito de a atividade sucessora puxar a produção da antecessora; d) **takt-time**, por facilitar a visualização do ritmo da produção; e) **sincronia**, que pode ser percebida comparando as inclinações das linhas de balanço que compõe o gráfico.

## **3 METODOLOGIA**

Para a realização do presente estudo de caso, foi selecionado um empreendimento já executado na cidade de Goiânia - Goiás e entregue ao empreendedor no segundo semestre de 2014. O contrato celebrado entre o cliente e a construtora foi do tipo "Obra por Administração", com bonificação em função de metas de prazo e custo.

O empreendimento é composto por vinte e sete casas populares de aproximadamente 64 m<sup>2</sup>, arruamento interno, área de lazer com churrasqueira e guarita para acesso de pedestres e veículos, tudo edificado em área de cinco mil metros quadrados. A casa por sua vez, é composta por dois quartos, sendo um suite, banheiro social, cozinha, sala, área de serviço e garagem coberta.

Para permitir a visualização da distribuição das atividades ao longo do tempo e dos eventuais potenciais de redução de prazo para o empreendimento em questão, converteu-se o cronograma real da execução da obra, que já se encontrava concluída quando da elaboração deste trabalho, para um gráfico de linhas de balanço. Esse

planejamento compõe o Cenário 01 de análise, e passou a ser chamado de Linha de Balanço Consolidada (LOBC).

Na elaboração da LOBC, considerou-se somente o cronograma de execução das casas, que englobam atividades que possuem características de repetição. Não foram incluídas nessa análise as atividades relacionadas à área comum, como execução do arruamento interno, execução da área de lazer e churrasqueira, execução de infra estrutura elétrica e hidrossanitária, guarita e muros.

Outros 3 cenários foram estudados. No Cenário 02, buscou-se garantir a sincronização entre os serviços, fazendo tentativas para estabelecer a mesma taxa de produção de 5 casas / semana para todas as atividades. Após a adoção dessa premissa, foram feitos os ajustes necessários para obter o melhor aproveitamento das equipes. No Cenário 03, o objetivo foi usar a menor equipe possível para cada atividade de forma que todos os serviços fossem realizados dentro do mesmo prazo original do Cenário 01. Já no Cenário 04, buscou-se aproveitar as equipes existentes do Cenário 01 da forma mais racional possível.

Para a melhor compreensão das análises realizadas no presente estudo, fazem-se necessários os seguintes esclarecimentos: a) ***tack-time*** é o tempo disponível para produção dividido pela demanda do cliente (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2003). Foi obtido dividindo-se o tempo de execução de cada atividade (considerando 5 dias de trabalho na semana) pela quantidade de casas; b) **tempo de ciclo**, é o tempo requerido para produzir uma parte ou completar um processo (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2003). Informação repassada pela construtora. Para esse trabalho, este é igual à duração unitária, devido às unidades consideradas nas análises (dia/casa). O tempo de ciclo é limitado pelo recurso "crítico" ou "gargalo", e é fator limitante para o ***tack-time***; c) a **quantidade de equipes** é obtida dividindo-se o tempo de ciclo (capacidade da equipe, medida em dia) pelo ***tack-time***.

#### **4 DESENVOLVIMENTO**

A análise da possibilidade de redução do prazo da obra foi feita respeitando duas restrições:

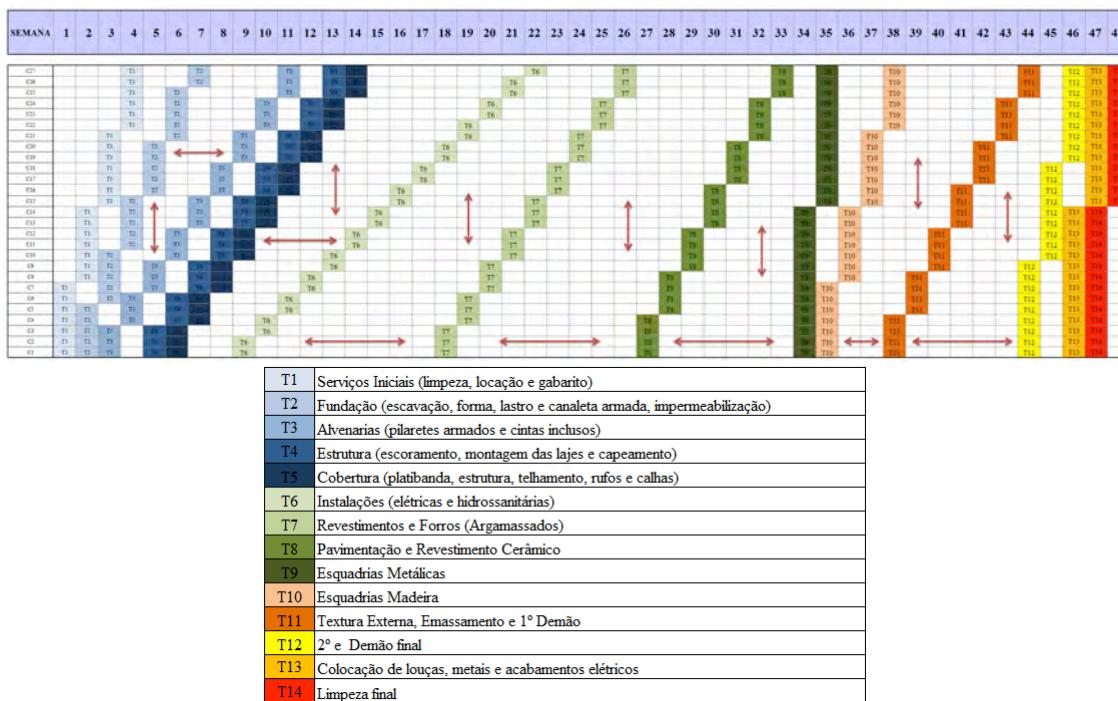
- a) Devido à limitação física de espaço na obra e da estrutura do canteiro de obras, qualquer avaliação de alteração da taxa de produção das atividades deve ser feita de forma a respeitar o número máximo de 50 funcionários operacionais trabalhando simultaneamente nas obras das casas;
- b) De forma a contar com uma margem de segurança em virtude do eventual não cumprimento das atividades dentro do prazo estabelecido, para a elaboração do histograma de mão de obra, deve-se considerar a permanência de toda a equipe necessária para a execução de determinado serviço do primeiro ao último dia do cronograma.

A segunda restrição tem como objetivo padronizar a permanência das equipes na obra, uma vez que com os dados existentes repassados pela construtora, é possível quantificar as equipes e definir as produtividades, mas não definir com exatidão sua permanência no canteiro. Assim, o histograma de mão de obra apresentado para a LOBC pode apresentar pequenas distorções com relação ao que foi praticado em relação à permanência da mão de obra.

## 5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Durante a execução da obra, as tarefas foram agrupadas em "pacotes de serviço" e distribuídas às equipes, que acabaram funcionando como "células de trabalho". Estão representadas na LOBC os 14 pacotes de serviços definidos na obra, conforme pode ser visto na Figura 01.

**Figura 01 – Linha de Balanço Consolidada e legenda (Cenário 01)**



Fonte: do Autor

A LOBC apresenta oportunidades de redução do prazo de obra, o que pode ser confirmado através dos "pulmões" ou "folgas" entre as atividades, apontadas com setas vermelhas na Figura 01.

Especialmente entre o final da tarefa 5 e o início da tarefa 9, pode-se perceber grande espaço de tempo com poucas tarefas sendo executadas. O principal motivo dessa ocorrência foi a adequação ao fluxo de caixa do cliente - após o início da obra, o cliente optou por fazer algumas aquisições de custo representativo (compra de portas, louças, metais, vidros, pisos e revestimentos) com pagamento praticamente a vista, de forma a garantir bons descontos. Essa decisão, acabou por comprometer seu fluxo de caixa e o ritmo da obra precisou ser reduzido para que o grupo empreendedor recuperasse sua capacidade de investimento. Do tempo transcorrido entre T5-T9, 9 semanas foram comprometidas com a recomposição do fluxo de caixa, prazo esse que não pode ser contabilizado nas análises por não representar oportunidade de redução de prazo.

Outras folgas e diferentes taxas de produção entre as atividades podem ser percebidas, o que acabam por gerar uma produção não sincronizada e não nivelada e culmina com um prazo total de obra maior que o necessário se analisado do ponto de vista *lean*.

A seguir, as Tabelas 01 e 02, resumem, respectivamente: a) as equipes destinadas a cada atividade e o prazo de duração unitário verificado para cada tarefa; b) análises a partir

**SIBRAGEC - ELAGEC 2015 – de 7 a 9 de Outubro – SÃO CARLOS – SP**

da LOBC (em função de sua natureza repetitiva, está sendo apresentada nessa tabela apenas parte das análises, para compreensão do leitor da metodologia utilizada).

A partir das análises dos dados da LOBC apresentadas na Tabela 02, foram feitas avaliações das atividades e das interações entre atividades (em função de aspectos técnicos referentes aos serviços ou aspectos referentes à gestão e planejamento do empreendimento).

**Tabela 01 – Equipes da obra e prazos verificados para execução das tarefas**

Tarefa	Profissional	Ajudante	Duração unitária (dia/casa)
1 - Serviços Iniciais	1	2	2
2 - Fundação	2	3	3
3 - Alvenarias	2	2	4
4 - Estrutura	2	1	2
5 - Cobertura	4	1	2
6 - Instalações (Eletro / Hidro)	2	2	2
7 - Revestimentos e Forros	3	1	5
8 - Pavimentação e Reves. Cerâmico	1	1	4
9 - Esquadrias Metálicas	1	1	1
10 - Esquadrias de Madeira	1	1	1
11 - Textura Ext., Preparação Pintura	2	1	3
12 - Pintura de Acabamento	1	1	1,5
13 - Louças, Metias Acabamentos	2	1	1
14 - Limpeza Final	-	3	0,5

Fonte: do Autor

**Tabela 02 – Trecho das análises a partir da LOBC (Cenário 01)**

Tarefa	Dados para LOB Consolidada							
	Atividade				Equipe			
	Início - semana	Término - semana	Duração - semana	Takt-time da Atividade - dia/casa	Tempo de Ciclo (capacidade de equipe) - dia	Qtd. equip	Qtd. Equip (arred)	Qtd. total funcionários
T1	1	4	4	0,74	2,00	2,70	3	9
T2	2	7	6	1,11	3,00	2,70	3	15
T3	3	11	9	1,67	4,00	2,40	3	12
T4	5	13	9	1,67	2,00	1,20	2	6

Fonte: do Autor

## SIBRAGEC - ELAGEC 2015 – de 7 a 9 de Outubro – SÃO CARLOS – SP

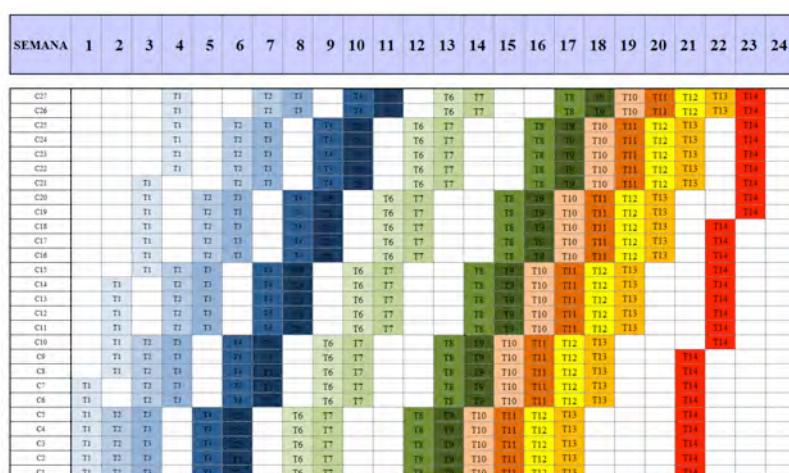
Para elaboração do Cenário 02, buscou-se estabelecer a mesma taxa de produção para as tarefas, redefinindo as equipes conforme a necessidade, repetindo restrições técnicas e de capacidade do canteiro e reduzindo as folgas existentes. O resultado pode ser visto na Tabela 03, que mostra os novos índices e o redimensionamento das equipes, e na Figura 02, que apresenta a LOB projetada para esse novo cenário. Foi possível estabelecer o mesmo *takt-time* para 12 das 14 atividades, criando fluxo, melhorando o balanceamento e sincronia. Os trabalhos acontecem de forma praticamente ininterrupta em cada uma das casas. As folgas entre as atividades, que podem ser interpretadas como desperdício uma vez que não geram valor do ponto de vista do cliente, foram reduzidas para o mínimo necessário, de forma a garantir "pulmões de segurança" e proteger a produção das incertezas e variabilidades (BALLARD; HOWELL, 2003).

**Tabela 03 – Trecho dos dados LOB projetada (Cenário 02)**

Tarefa	Dados para LOB Projetada							
	Atividade				Equipe			
	Início - semana	Término - semana	Duração - semana	Takt-time da Atividade - dia/casa	Tempo de Ciclo (capacidade de equipe) - dia	Qtd. equip	Qtd. Equip (arred)	Qtd. total funcionários
T1	1	4	4	0,74	2,00	2,70	3	9
T2	2	7	6	1,11	3,00	2,70	3	15
T3	3	8	6	1,11	4,00	3,60	4	16
T4	5	10	6	1,11	2,00	1,80	2	6

Fonte: do Autor

**Figura 02 – LOB projetada (Cenário 02)**



Fonte: do Autor

Caso não houvesse a restrição da quantidade de funcionários trabalhando simultaneamente no canteiro de obras, também seria possível adequar a atividade T1 para a mesma taxa de produção de 5 casas por semana. A atividade T14 permite uma taxa maior de produção com a apenas 1 equipe. Em uma outra análise, uma eventual

redução da equipe poderia fazer com que a atividade se adequasse à mesma taxa de 5 casas por semana, porém, a natureza do trabalho indica uma melhor produtividade quando a equipe é formada por 3 pessoas. Por isso, manteve-se a equipe de 3 funcionários e postergou-se o início da atividade. Das folgas existentes entre as datas de início das atividades da LOB Projetada da Figura 02, temos: a) folgas devido a necessidades técnicas (T3-T4, T7-T8); b) devido ao limite de 50 funcionários trabalhando simultaneamente (T5-T6); c) devido a características do serviço (T13-T14).

Benefícios também puderam ser identificados com relação ao consumo de mão de obra. Mesclando as informações da quantidade total de funcionários para cada tarefa e os gráficos de LOB, é possível estabelecer um histograma de permanência de mão de obra.

Para a LOBC foi elaborado um histograma que resultou em um consumo de 737 "homens x semana", enquanto que para a LOB projetada do Cenário 02, o consumo foi de 663 "homens x semana", representando uma redução de cerca de 11% no consumo de mão de obra. Houve também redução do prazo da obra das possíveis 39 (48 semanas menos as 9 semanas perdidas com adequação ao fluxo de caixa) para 23 semanas, ou aproximadamente 41%. Essa redução também gera impacto direto no custo administrativo do projeto. Também pela análise dos histogramas, pode-se perceber que o pico de funcionários trabalhando simultaneamente no canteiro aumentou, de 43 para 47, um incremento de quase 10%.

Assim, estudou-se os Cenários 03 e 04. Para o Cenário 03, o objetivo foi de usar a menor equipe possível para cada atividade de forma que todos os serviços fossem realizados dentro do prazo total de execução da obra, de 48 semanas. Já para o Cenário 04, o objetivo foi de aproveitar as equipes já locadas no projeto da maneira mais eficiente possível. A comparação entre os cenários pode ser vista na Tabela 04.

**Tabela 04 – Comparação entre cenários**

	Prazo da obra (semana)	Permanência M.O. (homem x semana)	Pico M.O. (homem)
Cenário 01 - LOBC	48*	737	43
Cenário 02 - LOB Projetada	23	663	47
Cenário 03 - LOB Projetada	48	634	41
Cenário 04 - LOB Projetada	35	737	47

\*Nas análises deste capítulo, o título de comparação entre cenários, foi considerado o prazo possível de 39 semanas, já descontado a dilatação ocorrida em função do fluxo de caixa do cliente.

Fonte: do Autor

O Cenário 03 avaliado não apresenta reduções significativas nem de pico nem de permanência de mão de obra que justifiquem a dilatação do prazo de 23 para 48 semanas, quando comparado ao Cenário 02. Tal afirmação torna-se ainda mais relevante quando leva-se em consideração o potencial de redução de custo administrativo e de gestão da obra em função da redução do prazo. Já o Cenário 04, comprova as possibilidades de redução do prazo do empreendimento quando comparado ao Cenário 01, apenas racionalizando a utilização da mão de obra.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Toda a análise foi realizada de forma a reduzir as folgas do cronograma, o que reforça a necessidade do abastecimento constante e ininterrupto do canteiro e da integração e comprometimento da mão de obra. Aplicação do conceito de *just-in-time* e um relacionamento saudável com os fornecedores se tornam fundamentais para o sucesso do empreendimento. Aplicações de outras ferramentas *lean* (como *kanban*, 5S, etc.), podem ajudar na produção puxada, limpeza e organização do canteiro, produção com índices menores de erro, dentre outros benefícios, contribuindo para viabilizar o cumprimento do planejamento projetado.

Nesse trabalho não se avaliou as consequências do aumento das frentes de serviço em execução simultânea, que ocorre como decorrência da redução do *lead-time* e redução das folgas entre as atividades. Esse incremento das frentes simultâneas gera aumento de serviços de acompanhamento e fiscalização por parte da equipe administrativa e também aumenta a complexidade do abastecimento de materiais e serviços da obra. Esses assuntos podem ser explorados em trabalhos futuros.

O trabalho de revisão da LOBC do empreendimento foi feito de forma a buscar o nivelamento das taxas de produção das atividades. Durante esse processo, percebeu-se ociosidade de mão de obra em determinadas atividades na execução da obra estudada, reforçando a importância e potencialidade da avaliação realizada neste estudo, o que pode ser confirmado comparando os resultados dos Cenários 01 e 04 na Tabela 04 acima. Porém, para que a análise do Cenário 04 pudesse ser aplicada na prática, seria necessário que existissem no canteiro equipes multidisciplinares.

Por fim, reduzir o *lead-time* das atividades pode fazer com que se aumente o número de equipes trabalhando nas frentes de serviço. Quando isso ocorre, pode-se experimentar um efeito negativo que é a diminuição do número de vezes que a mesma equipe realiza o mesmo serviço. Com isso, perdem-se as vantagens decorrentes do "efeito aprendizado". Esse trabalho também não levou em consideração essa possibilidade, ficando mais um ponto passível de ser explorado futuramente.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- BALLARD, G.; HOWELL, G. Lean project management. **Building Research & Information**. [S.I.], n.31, v.2, p. 119-133, 2003.
- BYGBALLE, L.E.; SWÄRD, A. **Implementing Lean Construction - A Practice Perspective**. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 25-27 June 2014, Oslo, Norway.
- JONGELING, R.; OLOFSSON, T. A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD. **Automation in Construction**, Netherlands: Elsevier Science B.V., n. 16. Issue 2. p. 189-198. March 2007.
- LEAN INSTITUTE BRASIL. **Léxico Lean**: Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean. Trad. de Lean Institute Brasil. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.
- MOURA, R. D. S. L. M.; MONTEIRO, J. M. F; HEINECK, L. F. M. **Line of Balance – Is It a Synthesis of Lean Production Principles as Applied to Site Programming of Works?**. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 25-27 June 2014, Oslo, Norway.
- OHNO, T. **Toyota Production System**: beyond large-scale production. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

**SIBRAGEC - ELAGEC 2015 – de 7 a 9 de Outubro – SÃO CARLOS – SP**

WOMACK, J. P.; JONES K. T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas**: elimine os desperdícios e crie riqueza. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.