



ISBN: 978-85-67169-04-0

# SIBRAGEC ELAGEC 2015

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

## PROPOSTA DIDÁTICA PARA COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PLANEJAMENTO TRADICIONAIS E *LEAN*

POGET, Micaël (1); GRANJA, Ariovaldo Denis (2)

(1) Universidade Estadual de Campinas, e-mail: micaelpoget@gmail.com, (2) Laboratório de Gerenciamento na Construção, Universidade Estadual de Campinas, e-mail: adgranja@fec.unicamp.br

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma proposta didática para facilitar a assimilação de conceitos de planejamento baseado em localizações por alunos de graduação em Engenharia Civil, quando comparados a processos tradicionais baseados em atividades (redes de precedência e técnicas de caminho crítico). Dentro das técnicas existentes, o trabalho focou na linha de balanço (LOB) que é especialmente utilizada para planejar empreendimentos ditos repetitivos. A proposta foi desenvolvida para simular a construção de um conjunto habitacional com peças de encaixar. Duas fases comparativas constituem-na: (i) via emprego de métodos tradicionais de planejamento e (ii) via uso de LOB. Para as simulações com LOB, um aplicativo computacional foi desenvolvido como parte da proposta didática. Durante as diferentes aplicações, o jogo possibilitou a assimilação de conceitos do pensamento *lean*, tais como o de fluxo de produção. A assimilação de conceitos e princípios de planejamento tradicional e *leansão* difíceis de serem assimilados por meio de estratégias convencionais de transmissão de teoria, o que dificulta as aplicações diretamente nos canteiros de obras pelos agentes. A proposta aqui desenvolvida pode possibilitar uma maior assimilação de conceitos relacionados à produção enxuta no ensino de graduação, como forma de facilitar implantações mais diretas em situações práticas.

**Palavras-chave:** Jogo Didático, Linha de Balanço, Produção Enxuta, Planejamento.

### ABSTRACT

*This work proposes an educational approach to ease the teaching of location based planning for civil engineer undergraduate students, when compared to traditional ones (activity-based approaches), which rely on precedence networks and critical path techniques. Among the existent techniques, line of balance, especially used to plan repetitive projects, was selected. An educational game was created to simulate the construction of a housing complex with toy blocks. The game is composed of two comparative steps: (i) the construction using a traditional planning and (ii) using the line of balance's method (LOB). For the simulations with LOB, a computational application was developed as part of the educational proposal. During the simulations, the game demonstrated its abilities to illustrate several concepts of lean thinking, such as production flow. Generally, it is hard to explain theoretical concepts and principles of planning with traditional ways of teaching, which hampers the direct implementation of these concepts in building sites. This proposition can strengthen the assimilation of Lean construction philosophy among undergraduate student to facilitate direct applications in practical situations.*

**Keywords:** Educational Game, Line of Balance, Lean Construction, Planning.

## 1 INTRODUÇÃO

Muitos empreendimentos de construção envolvem atividades repetidas em várias unidades (ou localizações) idênticas ou similares. Por exemplo, em um prédio residencial, os empreiteiros se deslocam de pavimento a pavimento para construir

apartamentos iguais. Já em um conjunto habitacional, as equipes se deslocam de casa em casa; em uma rodovia, de trecho a trecho.

Para planejar tais empreendimentos, o método da linha de balanço (LOB) é comumente usado. Ele se insere na filosofia de planejamento baseado em localizações, que é mais indicado do que os métodos tradicionais baseados em técnicas de caminho crítico (CPM) para empreendimentos de construção, pois leva em conta a continuidade do fluxo de trabalho, as limitações de recursos e os conflitos de localizações (BÜCHMANN-SLORUP, 2012; KENLEY; SEPPÄNEN, 2006).

É reconhecido que o uso de jogos didáticos e técnicas de simulação são excelentes ferramentas de ensino em cursos de engenharia ou de treinamento de profissionais. Por meio da análise dos resultados das decisões tomadas nos jogos, pode-se perceber a tentativa do aluno em associar o conhecimento adquirido nas aulas com a prática de campo (MENDES JUNIOR; VARGAS; HEINECK, 1998). Já existem diversos jogos de gerenciamento com enfoques específicos.

Sobre a técnica de LOB, objeto deste trabalho, vários jogos didáticos já estão disponíveis na literatura. Pode-se citar aqui as simulações com casas de cartolinas para a obtenção de informação a respeito de perdas de materiais e produtividade de mão-de-obra (VARGAS et al., 1998a), e também com eventos aleatórios (VARGAS et al., 1998b). Foi desenvolvido depois um jogo didático para o ensino da técnica de LOB dentro de um contexto de variabilidade (SANTOS et al., 2002). A importância da definição do tamanho da unidade repetida é também simulada (SHIM; YOO; NGOMA, 2013). Outro jogo, o LEAPCON – simulando o acabamento dos vários apartamentos, cujo design é variável, de um edifício alto – trabalha com três conceitos de produção enxuta: o fluxo puxado, o tamanho do lote reduzido e a multitarefa (SACKS; ESQUENAZI; GOLDIN, 2007).

O jogo didático aqui desenvolvido foca mais no conceito de fluxo de produção e na sincronização das subempreiteiras. Ele compara dois sistemas de produção – (i) tradicional baseado em atividades e (ii) baseado em localizações por meio de LOB – via construção de um conjunto habitacional com peças de encaixar. Um aplicativo computacional de traçado de LOB foi desenvolvido para acompanhar e agilizar as simulações. A maior contribuição desta pesquisa é disponibilizar uma proposta didática visando a assimilação de conceitos de produção enxuta por alunos de graduação, possibilitando comparações com métodos tradicionais de planejamento baseados em caminho crítico.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Linha de balanço (LOB)**

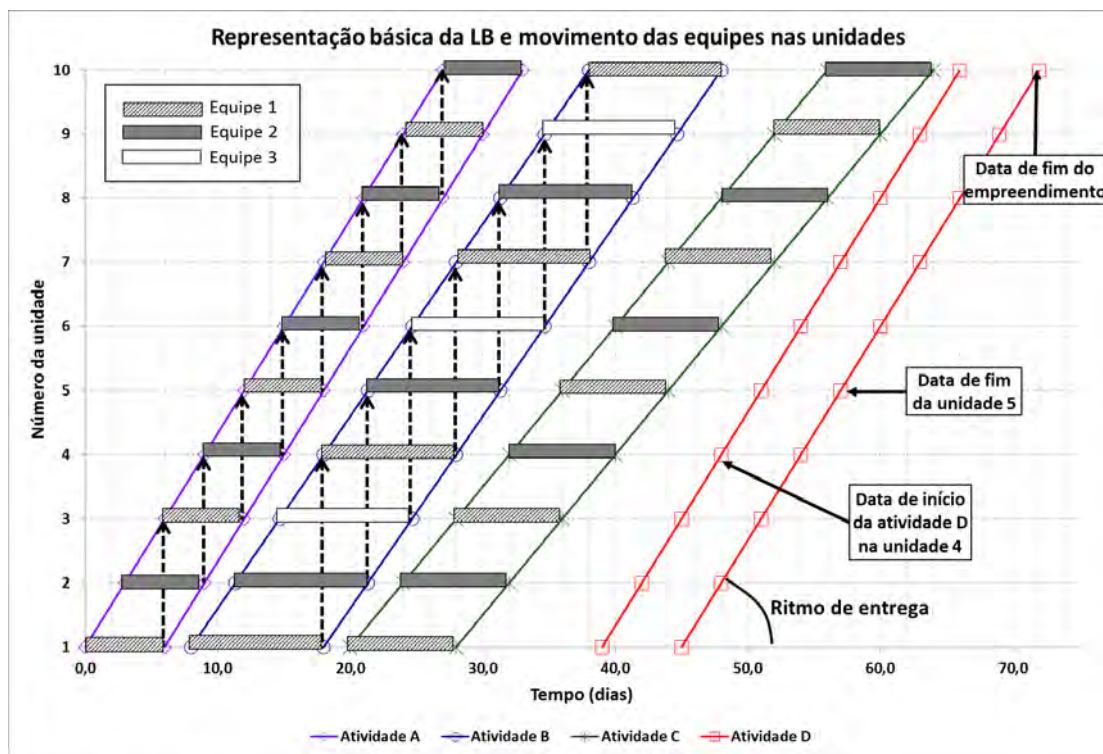
A LOB é utilizada especialmente para planejar empreendimentos ditos repetitivos, envolvendo atividades executadas sucessivamente, como a construção dos andares de um edifício alto, as casas idênticas de um conjunto habitacional, ou os trechos de uma rodovia (ARDITI; TOKDEMIR; SUH, 2002). Ela é basicamente um método gráfico que apresenta um diagrama quantidade-tempo, isto é, uma curva de produção para o processo de construção inteiro. A LOB permite visualizar o fluxo de trabalho das equipes por meio das diversas localizações e unidades da construção e pretende balancear as atividades do empreendimento para garantir a continuidade dos fluxos de recursos e dimensionar as equipes de trabalho, levando em conta as limitações de recursos (ARDITI; ALBULAK, 1986).

### 2.1.1 Vantagens da LOB

O maior benefício da LOB é ela ser capaz de apresentar informações relevantes para a gestão da produção, tais como a localização do trabalho, a direção de progressão e o ritmo de produção, de maneira simples e visual através do seu diagrama (YANG; IOANNOU, 2004). Por meio dela, facilmente pode-se prever ou analisar o ritmo de qualquer processo, seja de produção, de montagem ou de fornecimento (MENDES JUNIOR, 1999).

Os ritmos de produção podem ser modificados, alterando-se o número de equipes por atividade, para garantir um fluxo contínuo dos recursos, assegurando-se ao mesmo tempo o respeito às relações lógicas de antecedência entre as atividades (ARDITI; ALBULAK, 1986). Também foi observado que os mestres de obra e subempreiteiros são mais receptivos aos diagramas de LOB do que aos diagramas de rede (ARDITI; ALBULAK, 1986).

**Figura 1 – Representação básica da LOB e movimento das equipes nas unidades**



Fonte: elaborado pelo autor

### 2.1.2 LOB e produção enxuta

A LOB é uma ferramenta que detém várias características de produção enxuta tais como a visão de ciclo no tempo e no espaço, a simplificação das operação, a redução da variabilidade, a visão do fluxo de execução, a redução do *lead time* e a integração do curto médio e longo prazo (MOURA; HEINECK, LUIZ, 2014).

### 2.1.3 Limitações da LOB

O sucesso de um planejamento que utiliza a LOB depende em grande parte da escolha dos ritmos de produção de todas as atividades, que dependem, por sua vez, das estimativas dos recursos humanos necessários. Erros nestas estimativas são grandemente ampliados com a repetição das unidades (ARDITI; ALBULAK, 1986). O

controle dos ritmos efetivos na obra deve ser usado para atualizar e corrigir o planejamento(ARDITI; TOKDEMIR; SUH, 2002).

Na técnica de LOB, o ritmo de produção deve supostamente permanecer constante ao longo do tempo. Porém, devido à natureza aleatória dos processos de construção e ao efeito da curva de aprendizagem, esta hipótese pode estar equivocada e resultar em grandes falhas(MENDES JUNIOR, 1999).

## **2.2 Jogo didático**

### **2.2.1 Objetivos do jogo**

O jogo didático desenvolvido pretende comparar um método tradicional de planejamento baseado em atividades (redes de precedência e técnicas de aminorho crítico) com outro baseado em localizações (produção enxuta), a saber a técnica de LOB. Durante o jogo, o objetivo dos participantes é duplo: (i) realizar o empreendimento num prazo mínimo; (ii) prever o prazo da construção e respeitá-lo no momento da simulação.

### **2.2.2 Apresentação**

O empreendimento proposto aos participantes de duas equipes concorrentes é a construção, de um conjunto habitacional composto por seis casas idênticas, com peças de encaixar. A sequência construtiva de uma unidade padrão é detalhada na Figura 2.

Uma pessoa realiza apenas uma atividade e desloca-se de casa em casa. Assim, numa analogia com uma situação real, uma construtora contrata pelo menos seis subempreiteiros, um para cada atividade de construção.

**Figura 2 – Plano de construção**



Fonte: elaborado pelo autor

### **2.2.3 Regras do jogo didático**

Na primeira parte do jogo, os participantes, divididos em duas equipes concorrentes, são deixados livres para realizar o empreendimento num prazo mínimo. Uma estratégia própria é estabelecida com base em técnicas de planejamento tradicional. Entre cada simulação, os participantes se reúnem e elaboram estratégias visando à redução do tempo de conclusão do empreendimento. Devem levar em consideração conceitos de gestão, tais como a redução da duração de atividades; a melhoria nos fluxos logísticos de trabalho, no planejamento e na organização da produção; a redução de tempos improdutivos etc. O tempo de conclusão de cada casa é cronometrado e anotado para comparação e competição entre duas equipes.

Na segunda fase, a técnica de LOB é apresentada na simulação e usada para realizar o conjunto habitacional<sup>1</sup>. Nesta simulação, são vivenciados e abordados mais intensamente os princípios de fluxo, puxar e perfeição (WOMACK; JONES, 2004).

Os facilitadores apresentam uma primeira simulação com um prazo previsto calculado segundo a teoria exposta em aula. O prazo é inferior àqueles obtidos na rodada tradicional, o que causa certo ceticismo e ao mesmo tempo desafia os alunos para atingi-lo. Dado o desafio do menor prazo imposto, é exigida nesta rodada uma grande coordenação quanto ao fluxo contínuo e organização da produção. Daí a importância de os alunos já terem sido expostos à teoria da LOB e aos conceitos *lean* inerentes a ela.

Após a primeira simulação – com número de empreiteiros por atividade e datas de inícios das atividades impostos – as duas construtoras definem uma estratégia própria e competem para atingir o prazo estipulado. Um aplicativo de traçado de LOB, desenvolvido para o jogo didático e detalhado a seguir, é fornecido para ajudar na tomada de decisão e para sincronizar os empreiteiros.

O tempo de conclusão é anotado e comparado com o tempo previsto dado pelo aplicativo. O foco maior nesta simulação com LOB é tentar atingir o prazo pré-estipulado pelo aplicativo, inferior à simulação com processo tradicional. Conceitos *lean* tais como fluxo de produção, produção puxada, sincronização de ritmos, entre outros, são explorados e vivenciados na simulação. Finalmente, uma discussão é realizada com os alunos para ponderar os benefícios e as dificuldades da LOB sobre o planejamento tradicional durante a simulação do empreendimento.

**Imagem 1**–Simulação da construção com peças de encaixar



Fonte: elaborado pelo autor

### **2.3 Aplicativo de traçado de LOB**

Para automatizar os cálculos associados à técnica de LOB, um aplicativo foi desenvolvido, pelo autor com o *Microsoft Excel*, usando a linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*). A partir de uma rede unitária importada do *Microsoft Project* ou diretamente definida no *Excel*, o usuário especifica o número de unidade repetidas e o prazo desejado do seu empreendimento repetitivo. Podem-se inserir tempos de espera (ou *buffers*) entre atividades. Em seguida, o aplicativo propõe automaticamente uma composição de equipes, que pode ser modificada manualmente. Também estabelece o cronograma da obra, gerando uma planilha com as datas de início e fim de cada atividade, assim como os gráficos associados representando as LOB *flowlines* do empreendimento. As durações das atividades podem ser modificadas para adequações e ajustes e os cálculos são atualizados pelo aplicativo.

<sup>1</sup>É importante ressaltar que os alunos realizam esta simulação após terem tido uma aula teórica e resolvido exercício de aplicação sobre LOB.

Imagem 2 – Captura de tela do aplicativo: planilha de especificação do empreendimento

Input Parameters		Source		1- RECOVER		2- SPECIFY		3- MODIFY and VALIDATE		4- CREATE or RESET		5- GO TO the time table	
nb of repetitive units	6	from MS Project		Data from MS Project		Repetitive units characteristics		Buffer times and the Number of crews to UPDATE CALCULATIONS		the Time table and the LoB Graph		6- GO TO the LoB graph	
Deadline duration (days)	36,0	from Excel user										7-GO TO the Flowline gr.	
Imposed Rythm (unit/week)	1,79	Automatic calculations											
Duration 1 unit (days)	16												
Hours per day	8												
Days per week	5												
Days per month	20												

ID	Name	Predecessors	Duration days	Slack days	Buffer time	Desired		Atual		Chosen Rate	Total Duration	Times in days				Slack days	Name	
						Rate unit/day	Crew desired	Rate unit/day	Crew chosen			ES_i1	EF_iN	LS_i1	LF_iN			
1	Fundações		3	0	1	0,36	1,07	2	0,67	1	0,33	18,00	0	18	0	18	0	Fundações
2	Alvenaria	1	4	0	1	0,36	1,43	2	0,50		0,50	14,00	9	23	9	23	0	Alvenaria
3	Caixilhos	2	4	0	1	0,36	1,43	2	0,50		0,50	14,00	14	28	14	28	0	Caixilhos
4	Instalações	3	2	0	1	0,36	0,71	1	0,50		0,50	12,00	19	31	19	31	0	Instalações
5	Laje de forro	4	2	0	1	0,36	0,71	1	0,50		0,50	12,00	22	34	22	34	0	Laje de forro
6	Cobertura	5	1	0	1	0,36	0,36	1	1,00		1,00	6,00	30	36	30	36	0	Cobertura

Fonte: elaborado pelo autor

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Lições aprendidas com o jogo didático

O jogo foi realizado com alunos de graduação cursando o 4º ano em Engenharia Civil. Nos Quadro 1 e Quadro 2, foram agrupadas algumas dificuldades e respectivas observações encontradas ao longo da aplicação do jogo, que serviram de aprendizado aos alunos. Cada uma é comentada de forma a reunir as melhorias possíveis, os conceitos subjacentes e enfatizar os aprendizados ilustrados durante o jogo.

Quadro 1 – Problemas e aprendizados vivenciados no jogo– princípios *lean* de fluxo e puxar

Problemas/Observações	Aprendizados/Medidas
<p>Observaram-se <b>PROBLEMAS DE FLUXO</b>: participantes passando atrás dos outros; gargalos; esperas.</p> <p>O fluxo confuso resultou, na impossibilidade de realização de algumas tarefas, sobretudo durante as simulações com processo tradicional.</p>	<p>Deve-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Garantir uma frente de trabalho;</li> <li><input type="checkbox"/> Deixar espaço entre os postos de trabalho (logística de canteiro);</li> <li><input type="checkbox"/> Estabelecer coordenação e comunicação entre equipes;</li> <li><input type="checkbox"/> Deixar bem claro quem faz o que.</li> </ul> <p><b><i>Quando o fluxo de produção é contínuo, o desempenho global melhora.</i></b></p>
<p>No <b>balanço das atividades</b> (impôs-se o mesmo ritmo, ou seja, a mesma duração para cada atividade), a simulação respeita o previsto e a sincronização entre empreiteiros é muito simples – neste caso uma pessoa indica em voz alta a <b>cadência a se respeitar (Tempo Takt)</b>.</p> <p>Porém, diminuiu-se muito o ritmo de algumas atividades acarretando perda de</p>	<p>Deve-se trabalhar com uma equipe de tamanho ótimo no seu ritmo natural – senão ocorre uma perda de produtividade (quando a duração prevista de uma atividade é maior que a duração real, observa-se ociosidade da equipe que não agregará valor à obra; ao contrário, quando a duração alocada é menor do que a necessária, a qualidade do empreendimento pode deteriorar e os custos tendem a aumentar).</p>

Problemas/Observações	Aprendizados/Medidas
tempo, equipes ociosas, e decorrentes aumentos de custo.	<b><i>Sem controle e sincronização, o planejamento não é efetivo.</i></b>
Numa determinada simulação, a última atividade devia começar 10s após o fim da primeira unidade do predecessor. A espera é grande e a tentação de começar mais cedo (porque tem muita frente) é forte. Porém o tempo de início foi respeitado e o empreendimento acabou em 40s (para 39s previstas)	O respeito aos tempos de entrada é fundamental Deve-se deixar uma folga entre atividades e limitar os riscos de conflito com uso de buffers Deve-se <b><i>garantir a sincronização das equipes</i></b>

Fonte: Elaborado pelo autor

### Quadro 2 – Problemas e aprendizados vivenciados no jogo– princípio *leande* perfeição

Problemas/Observações	Aprendizados/Medidas
As durações das atividades inicialmente especificadas no aplicativo não correspondem à realidade das equipes presentes, o que cria incômodos.  Essas durações são voluntariamente diferentes do que se observa na prática para forçar a reflexão sobre soluções a trazer para superar essa dificuldade (uso de <i>buffer</i> , adequação das durações etc.).	É necessário recalibrar as durações em função das equipes presentes  <b><i>Deve-se controlar o desempenho e medir a produtividade das equipes</i></b>
Notaram-se problemas de <b>disposição do material (analogia com logística do canteiro de obras)</b>	A orientação e a localização das peças são importantes.  Deve-se <b><i>padronizar a disposição</i></b> e orientação do material em cada unidade

Fonte: Elaborado pelo autor

**Outros aprendizados transmitidos aos alunos:** Um bom planejamento é aquele que **respeita o que foi previsto**, minimizando as diferenças entre o previsto e o realizado – no aspecto de prazo e de fluxo de caixa.

### 3.2 Resultados

Pode-se observar que o jogo, além de comparar dois sistemas de gestão da produção e de planejamento, permite a assimilação de maneira simples de vários conceitos e ilustra as vantagens da LOB sobre o processo tradicional em situações de produção de unidades repetitivas.

O aplicativo ajudou consideravelmente a simulação do jogo didático, permitindo testar com flexibilidade e facilidade vários cenários diferentes, aumentando o alcance didático. Sem o cálculo automático das LOBs pelo aplicativo, a aplicação do jogo fica limitada, presa a uma ou duas configurações previamente calculadas.

## 4 CONCLUSÃO

A assimilação de conceitos e princípios de planejamento tradicional e dopensamento enxutosãode difícil assimilação por meio de estratégias convencionais de transmissão de teoria, o que dificulta a extrapolação de aplicações diretamente nos canteiros de obras. A proposta aqui desenvolvida possibilita uma maior assimilação de conceitos

relacionados à produção enxuta no ensino de graduação, como forma de incentivar implantações mais diretas em situações práticas.

O jogo aqui apresentado pode ser aprimorado de diversas formas. Por exemplo, criar uma terceira fase de jogo com outro empreendimento (casas diferentes e condomínio maior) e deixar os participantes em total autonomia. Assim se observará, ou não, se os alunos entenderam os conceitos de planejamento apresentados. Para estimular a competição entre equipes, deve-se estabelecer critérios concretos de classificação, tomando em conta o tempo efetivamente realizado para terminar o empreendimento e também aplicar algumas penalidades dependendo do não cumprimento do tempo previsto e da frequência de ocorrência de ociosidade das equipes no canteiro (simulando, por exemplo, multas contratuais existentes em situações reais).

Na versão atual do jogo, poucos elementos sobre a importância da logística do canteiro de obra são levados em conta (as peças a encaixar são dispostas no tabuleiro antes de começar a construção e os alunos têm liberdade para pensar em alguns aspectos logísticos). Também seria interessante incorporar às simulações mais elementos relacionados à logística, por exemplo, estratégias de fornecimento de material em locais que favoreçam o fluxo da produção.

## **REFERÊNCIAS**

- ARDITI, D.; ALBULAK, M. Line-of-Balance Scheduling in Pavement Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 112, n. 3, p. 411–424, 1986.
- ARDITI, D.; TOKDEMIR, O.; SUH, K. Challenges in Line-of-Balance Scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 128, n. 6, p. 545–556, 2002.
- BÜCHMANN-SLORUP, R. **Criticality in Location-Based Management of Construction**. [s.l.] Department of Management Engineering, Technical University of Denmark, 2012.
- KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. **Location-Based Management System for Construction: Planning, Scheduling and Control**. [s.l.] Routledge, 2006.
- MENDES JUNIOR, R. **Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico., 1999.
- MENDES JUNIOR, R.; VARGAS, C. L.; HEINECK, L. **Jogo de programação da construção de edifícios via internet**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA. São Paulo: 1998
- MOURA, R.; HEINECK, LUIZ. **Linha de balanço – síntese dos princípios de produção enxuta aplicados à programação de obras**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Maceió, AL: 2014
- SACKS, R.; ESQUENAZI, A.; GOLDIN, M. LEAPCON: Simulation of Lean Construction of High-Rise Apartment Buildings. **Journal of Construction Engineering and Management (ASCE)**, v. 133, n. 7, p. 529–539, jul. 2007.
- SANTOS, D. et al. **O ensino de linha de balanço e variabilidade através de um jogo didático**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Foz de Iguaçu - Paraná - Brasil: 2002
- SHIM, E.; YOO, W. S.; NGOMA, D. **A Simulation Game for Construction Scheduling**. In: ASC ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE PROCEEDINGS. Associated Schools of Construction, 2013
- VARGAS, C. L. et al. **Avaliação de produtividade e de perdas na construção civil: simulação utilizando modelo reduzido para demonstrar as vantagens do uso da linha de balanço na programação da obra e de inovações tecnológicas no canteiro**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Florianópolis: 1998a



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

VARGAS, C. L. et al. **Programação e controle de atividades repetitivas na execução de obras com modelo reduzido utilizando a técnica da linha de balanço**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Niterói: 1998b

YANG, I.; IOANNOU, P. G. Scheduling system with focus on practical concerns in repetitive projects. **Construction Management and Economics**, v. 22, n. 6, p. 619–630, 1 jul. 2004.