



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

CONTRIBUIÇÕES DA FERRAMENTA *FIRST RUN STUDY* NA GESTÃO DE EMPREENDIMENTOS COMPLEXOS

F.A. Saffaro (1), M.G. Trescastro (2), F.K. Schramm (2), A.A. Rodrigues (2), C.T. Formoso (2), L.F. Heineck (1)

(1) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – e-mail: saffaro@uel.br

(2) Núcleo Orientado para a Inovação na Edificação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

RESUMO

Proposta: A natureza complexa da construção requer o uso de ferramentas que forneçam informações e suporte ao processo de tomada de decisão em cada fase do Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP). A prototipagem é uma destas ferramentas que vêm sendo adotadas por outros setores industriais com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento do produto, especialmente com respeito à incerteza e riscos característicos. Outra ferramenta, chamada de *First Run Study* (FRS), faz uso dos primeiros ciclos de repetições de uma atividade para reduzir as incertezas provenientes do desconhecimento do método de trabalho, adequando-se aos preceitos da prototipagem. Este artigo tem como objetivo, investigar a extensão das contribuições desta ferramenta e de seu potencial, não apenas para intensificar o conhecimento do processo de produção em empreendimentos complexos, mas também para propor melhorias. **Contribuições / Originalidade:** Embora a prototipagem seja prática comum em outros setores industriais, na construção civil, a mesma é pouco utilizada, especialmente para a gestão do processo de produção. **Método de Pesquisa:** Foi desenvolvido um estudo de caso em uma empresa de construção com a preocupação de investigar o uso do *First Run Study* (FRS) como meio de promover o entendimento dos processos de produção e indicar oportunidades de melhoria. **Resultados:** Os resultados sugerem que esta técnica pode ser utilizada para aprimorar o conhecimento do processo de produção e ainda, orientar intervenções voltadas a melhorias.

Palavras-chave: prototipagem, first run study, operação-padrão, ciclo PDCA.

ABSTRACT

Propose: The complex nature of construction requires the use of tools to provide information and to support the decision making process during the product development process (PDP) phases. Prototyping is one of these tools which have been adopted by other industrial sectors with the objective of contributing to the product development, especially because of the existing uncertainty and risk. Another tool, First Run Study, which uses an activity's first repetition cycle to reduce the uncertainties from the lack of knowledge in work methods, is adequate to the prototyping main ideas. **Contributions/Originality:** However, those techniques have been poorly used in construction, especially to reduce the uncertainties related to the production processes. **Methods:** This paper describes a case study that was carried out in a construction company with the aim of investigating the contributions of First Run Study to manage the production process. The investigations comprise its potential to promote the understanding of the production processes as well the improvements. **Results:** The results suggest this tool improves the work method knowledge and also has a potential to guide the interventions in the production process.

Keywords: prototyping, First Run Study, standard operation, PDCA cycle.

1 INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a análise de empreendimentos da construção tem sido descrita como linear, estática e fechada, sugerindo a consideração de um empreendimento estritamente ordenado que progride de uma forma bem definida, através de estágios previsíveis, até sua conclusão. Esta consideração presume que todas as informações estão disponíveis no início das atividades, permitindo a realização de um plano ótimo e unicamente preocupado em manter o empreendimento dentro dos objetivos previamente estabelecidos. (RODRIGUES; BOWERS, 1996).

Entretanto, na maioria dos casos esta situação não ocorre. Empreendimentos atrasam e seus custos de produção finais ultrapassam os custos originais. Bertelsen (2003) atribui este desempenho ao padrão inadequado de gestão, que assume que os empreendimentos têm uma natureza regular e simples, passíveis de serem geridos de forma independente, através de contratos, fases, atividades e pacotes de trabalho.

Esta forma de gestão que propõe uma modelagem do mundo real a partir da lógica, do comportamento linear, da causalidade entre ações e resultados, da simplificação na representação dos fatores externos, tem sido criticada por alguns autores (JOHNSTON; BRENNAN, 1996; KOSKELA, 2001; KOSKELA; HOWELL, 2002; BERTELSEN; KOSKELA, 2004; ABDELHAMID, 2004), indicando para uma forma mais ampla de gestão, incluindo aspectos relacionados à coordenação, à comunicação não hierárquica entre as unidades participantes do processo de produção, à autonomia nas tarefas, à garantia de condições físicas, políticas e culturais para a realização das ações, à cooperação e à aprendizagem.

Esta ampliação do entendimento da atividade de gerenciamento é amparada pela Teoria da Complexidade, que sugere que a gestão de sistemas complexos, como no caso da construção civil, seja pautada na busca interna pelo equilíbrio, ou seja, na capacidade de auto-organização, evitando interferências externas que levem o sistema a um comportamento imprevisível (LUCAS, 2000).

Com relação ao sistema de produção, Koskela (2000) propôs a teoria TFV (Transformação, Fluxo e Valor), estabelecendo que atuações na transformação e no fluxo devem ocorrer de forma articulada no modelo de produção (projeto, controle e melhorias) em busca do valor capturado do cliente.

Dentro deste contexto, vem se desenvolvendo o uso de ferramentas de gestão adequadas às diretrizes da teoria TFV, em um contexto de cooperação e comunicação intensa, estimulando o comprometimento dos envolvidos e sua aprendizagem. O *Last Planner*TM, sistema de controle da produção na construção civil, proposto por Ballard (2000), caracteriza-se, essencialmente, por ser voltado à redução da incerteza no fluxo de trabalho, por intermédio destes requisitos.

Embora o *Last Planner*TM busque estabilizar o fluxo de produção, assegurando o início da execução das tarefas apenas sob condições favoráveis, Ballard (1999) reconhece que a falta de conhecimento aprofundado do método de trabalho é importante fonte de incerteza e sugere o uso da ferramenta *First Run Sudy* (FRS) com o intuito de melhorar a confiabilidade dos planos.

Assim, este artigo relata os resultados de um estudo realizado em um empreendimento com características complexas no qual foi utilizada a ferramenta FRS. O objetivo do estudo foi de avaliar as contribuições efetivas e potenciais do emprego desta ferramenta, identificando também as dificuldades para sua implementação.

Como a aplicação da ferramenta FRS busca experimentar diferentes métodos de trabalho ao longo dos ciclos de repetição, fica caracterizada uma abordagem experimental¹ de natureza similar àquela praticada na prototipagem de produtos em alguns setores industriais. A prototipagem praticada na etapa de produção é citada por Chew et al. (1991) e Clark et al. (1992) em reconhecimento à presença da incerteza e da

¹ Neste trabalho, o termo experimentação e seus derivados são utilizados para expressar uma atividade intrinsecamente voltada a experimentar alternativas diferentes, não tendo a mesma conotação dos experimentos científicos que pressupõe o controle dos fatores externos que repercutem nos resultados.

complexidade do mundo real, fruto não apenas do baixo conhecimento dos métodos de trabalho, mas também da grande quantidade de elementos intervenientes que interagem de forma imprevisível, dado o contexto diversificado em que se desenvolve a produção. Estes autores mencionam que embora a prototipagem praticada diretamente na linha de produção garanta maior fidelidade à atividade de experimentação, outros recursos tais como, simulação utilizando modelos virtuais e a prototipagem física, adotados em etapas anteriores à produção comercial têm a função de aliviar a carga de problemas a serem resolvidos na produção. Nesta mesma linha, outros autores (ROSENTHAL; TATIKONDA, 1992; BROWN; EISENHARDT, 1995; REINERTSEN, 1997; PATTERSON, 1999; ULRICH; EPPINGER, 2000) defendem o uso precoce e concatenado dos recursos de prototipagem.

O uso da ferramenta *FRS* pressupõe a definição de um padrão a cada ciclo de repetição. Em função da possibilidade de falta de estímulo e autonomia da equipe quando submetida à padronização, torna-se necessário entender qual a contribuição ao se adotar um método de trabalho padrão e que elementos o mesmo deve explicitar. Considerando que o padrão é um elemento importante na estrutura do Sistema Toyota de Produção (STP), principal fonte de inspiração da teoria TFV e que a ferramenta *FRS* apóia-se nesta teoria, buscou-se apoio nos autores que apresentaram a estrutura do padrão no STP.

2 *FIRST RUN STUDY*

O *First Run Study (FRS)* consiste na elaboração de um plano detalhado por uma equipe multifuncional composta por representantes daqueles que executarão a atividade. Os primeiros ciclos de repetição são utilizados para refinar o conhecimento a respeito do método de execução da atividade, subsidiando o detalhamento do plano de curto prazo dentro do *Last Planner™* (BALLARD, 2000).

O *FRS* reforça as bases do *Last Planner™* na teoria TFV, porque utiliza os ciclos de repetição para aprofundar o conhecimento no método de trabalho (transformação), visando a estabilização da produção (fluxo) e melhorando a confiabilidade das metas atreladas a níveis estratégicos (valor).

Howell & Ballard (1997) sugerem que os procedimentos para aplicação da ferramenta *FRS* sejam regidos pelos conceitos do ciclo *PDCA (Plan-Do-Check-Act)*, em que cada ciclo é utilizado para definir metas e planos para atingi-las. Entretanto, Imai (1997) afirma que o ciclo *SDCA (Standardize-Do-Check-Act)* antecede o ciclo *PDCA* e que, posteriormente, se alternam, definindo um período de estabilidade e manutenção do *status quo (SDCA)*, seguido de um período de mudança (*PDCA*) e instabilidade. Ou seja, inicialmente é necessário executar a tarefa de forma uniforme (padrão) e, uma vez que o sistema esteja sob controle, isto é, estável, o desafio é melhorar o *status quo* estabelecendo um novo padrão.

Em função da inexistência de trabalhos científicos descrevendo a aplicação da ferramenta *FRS*, não estão esclarecidos os limites da contribuição da ferramenta, isto é, se a mesma visa simplesmente aprimorar o conhecimento e uniformizar o método para executar as tarefas contidas no *Last Planner™*, melhorando a confiabilidade dos planos, ou se a ferramenta estaria inserida em um contexto mais amplo, de melhoria contínua, e teria potencial para estabelecer novos padrões de desempenho para o *Last Planner™*. Nesta última hipótese e, tendo em vista que o *FRS* é sugerido para melhorar a confiabilidade no fluxo de trabalho no *Last Planner™*, a ferramenta deveria oferecer potencial para acelerar o processo de aprendizagem da equipe a cada novo padrão estabelecido. Caso contrário, a instabilidade ocasionada pela mudança acarretaria incertezas no *Last Planner™*.

No trabalho de Howell e Ballard (1999), as etapas de aplicação da ferramenta *FRS* são descritas apenas em linhas gerais. Os autores relatam que os primeiros ciclos são utilizados para um contato inicial com o método de trabalho. Posteriormente, em ciclos intermediários, é possível propor um redesenho da atividade, e sempre que possível, as operações são dispostas em paralelo de forma a reduzir a interação entre as mesmas. Neste momento, surge uma interação causada pelo uso de recursos comuns e, então, *buffers* de recursos e na forma de trabalho em progresso são alocados para que não ocorram interrupções no fluxo de trabalho. Na última etapa, o refinamento do conhecimento do método de trabalho permite reduzir

o tamanho dos *buffers*. Entretanto, conforme os autores, dificilmente este estágio é atingido, pois, normalmente, os ciclos de repetição se encerram antes deste ponto.

Portanto, de acordo com a descrição de Howell e Ballard (1999), a incerteza causada pelo desconhecimento do método de trabalho e pela interdependência entre as operações dificulta que os elementos do padrão sejam explicitados nas repetições iniciais. Desta forma, as repetições iniciais são utilizadas para a definição do padrão do primeiro ciclo *SDCA*. Nas repetições intermediárias, é possível atingir um estágio de melhorias e são alocados *buffers* para garantir a confiabilidade dos planos no *Last Planner*TM. Como os autores relatam que as repetições terminam antes que seja possível ajustar os *buffers*, isto é, o processo ainda se encontra no estágio de instabilidade, deduz-se que apenas o primeiro ciclo *PDCA* é atingido.

3 DEFINIÇÃO DO PADRÃO

Segundo Imai (1997), um padrão é um conjunto de regras, diretrizes e procedimentos, que atua como um guia, capacitando os trabalhadores a executarem uma determinada tarefa da melhor maneira possível. Ainda, segundo o mesmo autor, a definição de um padrão é um dos três fundamentos da melhoria contínua (*kaizen*), portanto, o padrão não é estático, já que não existe uma única maneira de executar uma tarefa.

Treville & Antonakis (2005) discutem os efeitos da definição de um padrão em termos de limitação da autonomia e criatividade da equipe e as repercussões na motivação do trabalhador. Os autores argumentam que embora exista, de fato, uma limitação da autonomia, há, em contrapartida, benefícios que repercutem de forma positiva na motivação dos trabalhadores. Entre eles, são mencionados: senso de responsabilidade quando os trabalhadores participam da definição do padrão; senso de competência para executar a tarefa, uma vez que o seu conteúdo é detalhadamente explicitado e o trabalhador é treinado para executá-la e ainda, todas as condições para execução da tarefa são garantidas, tais como, recursos, equipamentos e treinamento da mão de obra.

Imai (1997), Monden (1998), Liker (2004) e Treville e Antonakis (2005) discutem a importância da padronização na redução da variabilidade, propiciada pela uniformidade nos procedimentos e pela conseqüente redução de defeitos e da aprendizagem. Entretanto, para que a padronização efetivamente contribua para a estabilidade, Liker (2004) destaca a importância de disponibilizar os recursos necessários em termos de materiais, mão-de-obra devidamente treinada e máquinas sob manutenção preventiva.

Como elementos que constituem o padrão, Imai (1997), Monden (1988) e Liker (2004) citam: o *takt time*², a seqüência de operações que constituem a atividade e a quantidade de trabalho em progresso. Monden (1998) e Ghinato (1996) explicam que, dentro da estrutura do STP, o padrão tem como finalidade assegurar um fluxo de trabalho estável em cada estação de trabalho, de tal forma que seja possível cumprir o conjunto de operações dentro do ciclo (*takt time*). Quando todas as estações de trabalho atingem este estado, a produção está balanceada e torna-se possível o fluxo sem o acúmulo de unidades entre as mesmas, isto é, o fluxo de uma única peça.

4 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO ESTUDADO

O empreendimento alvo do estudo de caso consistiu na ampliação de um hospital na cidade de Porto Alegre/RS, envolvendo a construção de quatro pavimentos sobre um edifício de internação preexistente. Para este edifício, uma nova escada interligando os sete pavimentos (objeto de estudo deste artigo) foi projetada e construída ligando os novos andares ao térreo.

Na execução da escada foi empregada a tecnologia de pré-fabricação. A escada foi montada a partir de peças de concreto armado (vigas, pilares, patamares e lances). Os pilares possuíam consoles metálicos

² Tempo necessário para produzir uma unidade (peça), tendo em vista a demanda do cliente.

previamente fixados. As vigas tinham armaduras salientes nas duas extremidades, as quais se encaixavam nos consoles metálicos dos pilares, sendo posteriormente soldadas aos consoles e solidarizadas com microconcreto, conferindo estabilidade às uniões e à torre. Estas vigas, além de fazerem a amarração entre pilares, recebiam os lances de escada que nelas eram apoiados. Ao longo de toda a execução do empreendimento, o hospital manteve seu funcionamento, exigindo grande cuidado com relação ao fluxo de pessoas e materiais, bem como quanto à geração de ruído.

A empresa construtora parceira (EP), responsável pela execução do empreendimento, vem atuando na construção de empreendimentos com características complexas, como prazos de execução exíguos e elevado grau de incerteza, decorrentes, principalmente, do desenvolvimento do projeto simultâneo à produção e da constante intervenção do cliente tanto nas diretrizes de projeto como na produção. O perfil da EP e o ambiente complexo do empreendimento contribuíram para o seu interesse em participar do estudo, em função dos benefícios potenciais oferecidos pela ferramenta *FRS*, no que se refere à possibilidade de desenvolver competências relacionadas ao melhor entendimento dos processos produtivos, principalmente em atividades executadas pela primeira vez.



Figura 1 – Posição da escada em relação às edificações vizinhas

5 MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa utilizada foi o estudo de caso com intervenção, considerando que a proposta de utilização das ferramentas foi de iniciativa dos pesquisadores e que, ao longo do seu desenvolvimento, houve a atuação conjunta entre estes e os funcionários da EP e da empresa de montagem (EM) no desenvolvimento e aplicação da ferramenta *FRS*³.

No decorrer da aplicação da ferramenta *FRS* foram realizados ciclos de ação-reflexão, a fim de subsidiar a definição dos padrões a serem seguidos. Estes ciclos desenvolveram-se segundo preceitos do ciclo *PDCA* que, segundo Imai (1997), constituem-se em: (a) definição do propósito da aplicação do *FRS*; (b) entendimento do *status quo*; (c) análise e identificação das causas de problemas com vistas à mudança do *status quo*; (d) definição de ações para implementação das mudanças; (e) implementação das ações; (f) avaliação das ações; e (g) definição ou reavaliação do padrão.

Para subsidiar a análise do *status quo* e identificar as causas dos problemas, foram definidas variáveis, cujas informações seriam coletadas ao longo dos ciclos de repetição. As variáveis definidas foram: (a) seqüência e durações das operações; (b) quantidade de trabalho em progresso; (c) a ocorrência de quase-acidentes de

³ Este estudo faz parte de um conjunto de estudos que compõem uma pesquisa de doutorado que tem como objetivo geral, explorar os benefícios e requisitos para que a prototipagem auxilie na gestão do processo de produção. Sua execução ocorreu em uma parceria entre alunos dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

trabalho⁴; e (d) o percentual de atividades do plano de segurança não cumpridas. As variáveis (a) e (b) tinham como objetivo avaliar a contribuição do *FRS* para a definição do padrão, enquanto as variáveis (c) e (d) tinham como objetivo registrar uma possível redução no tempo total de montagem da escada e aspectos de segurança, satisfazendo aos propósitos estabelecidos pela empresa para aplicação do *FRS*.

Ao final de cada ciclo ocorriam momentos de reflexão, nos quais eram definidos os padrões a serem seguidos nos ciclos seguintes, com a participação dos pesquisadores, dos engenheiros da EP e do encarregado da montagem.

6 ESTUDO DE CASO

A aplicação do *FRS* foi iniciada por uma reunião envolvendo pesquisadores, engenheiros da EP, engenheiro de produção e encarregado da EM. Nesta oportunidade, buscou-se explicitar um padrão inicial, abrangendo a sequência de execução das operações e o tempo de ciclo para a montagem de um nível de escada. Em função da montagem da escada não ser uma atividade crítica para o empreendimento, o *takt time* foi fundamentalmente determinado pelo custo elevado de locação do guindaste.

Para explicitar este padrão foi utilizado um modelo 3D (Figura 2) como meio de instigar a discussão de questões relativas ao processo de montagem e mediar a troca de informações com as pessoas que conheciam o método de trabalho.

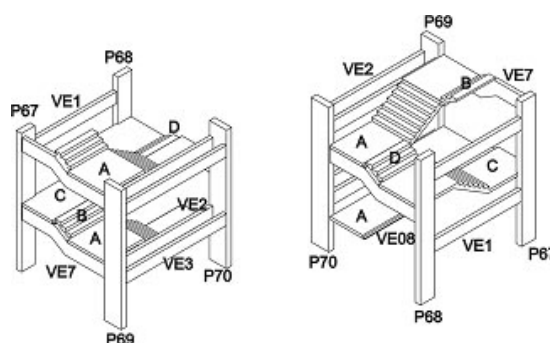


Figura 2 – Modelo 3D de um nível da escada

Com base na experiência do engenheiro e do encarregado da EM foi definido um ciclo de três dias para a montagem de um nível da escada. A clareza da sequência de montagem para os funcionários da EM não permitiu que houvesse uma discussão mais aprofundada do método e o restante da equipe entendeu que a sequência se resumisse a pilares-vigas-lances de degraus. Neste encontro ficou definido que as reuniões ocorreriam ao final da montagem de cada ciclo menor (pilares-vigas-lances) de forma que houvesse tempo hábil para reflexão e definição de um novo padrão para o ciclo seguinte.

A aplicação do *FRS* prosseguiu com o acompanhamento da montagem, quando os dados relativos às variáveis previamente definidas eram coletados, e reuniões em momentos em que o encarregado estava disponível. As reuniões ocorreram com uma frequência menor do que havia sido definido no encontro inicial porque o processo de montagem exigia a presença constante do encarregado.

Foi necessário que transcorressem dois níveis completos para que a equipe que acompanhava a montagem tomasse conhecimento de detalhes fundamentais relativos ao método de trabalho da atividade e que repercutiam na sequência de montagem. Ao longo do primeiro nível foi possível entender que o sistema de

⁴ Cambraia (2004) define um quase-acidente como sendo um evento instantâneo, não planejado, com potencial para gerar um acidente que, no entanto, não chega a ocorrer. De acordo com o recomendado por Cambraia (2004), os trabalhadores devem assumir uma participação ativa na coleta de dados para o indicador, relatando casos onde há ocorrência dos Quase Acidentes.

solidarização pilar-viga não se dava apenas pela solda, mas também através da aplicação de microconcreto que exigia doze horas de cura. Outro ponto importante, percebido apenas na execução do segundo nível, foi que apenas duas vigas serviam de apoio aos degraus. As demais vigas tinham o papel de travamento dos pilares. Desta forma, era imprescindível que as ligações destas duas vigas fossem solidarizadas com microconcreto até o final do dia, permitindo a cura durante a noite, momento de ociosidade do guindaste, e, conseqüentemente, o apoio dos degraus na manhã seguinte.

O entendimento do método foi conturbado devido a uma série de problemas com origem no projeto que afetaram a seqüência ideal de montagem. No primeiro dia, a solda e a aplicação do microconcreto das vigas principais não foram priorizados, em função da necessidade de um ajuste na seção desta viga. Também ocorreram freqüentes problemas de ajustes na ferragem de ligação da viga ao console do pilar, repercutindo em ociosidade do guindaste e variabilidade no tempo da operação de encaixe da peça.

Mesmo diante deste ambiente conturbado, o acompanhamento diário permitiu que a equipe de pesquisa⁵ elaborasse a Planilha de Operação-padrão⁶, apresentada na Figura 3. Esta planilha mostrava que todas as operações para montagem de um nível poderiam ser executadas em um ciclo de dois dias, ao invés dos três propostos inicialmente, faltando apenas a solda de um pilar. Considerando que as operações de aprumação do pilar e de solda consumiam uma grande quantidade de tempo, buscou-se utilizar durante as reuniões a técnica dos “Cinco Porquês”, com o objetivo de entender as razões para a demora e de que forma a operação poderia ser melhorada através da realização de um *brainstorming* com a equipe. O uso da técnica dos “Cinco Porquês”, entretanto, não ocorreu de forma adequada e o *brainstorming* não foi utilizado em função do pouco tempo disponível e da falta de estímulo do encarregado diante da continuidade de uma série de problemas originados no projeto.

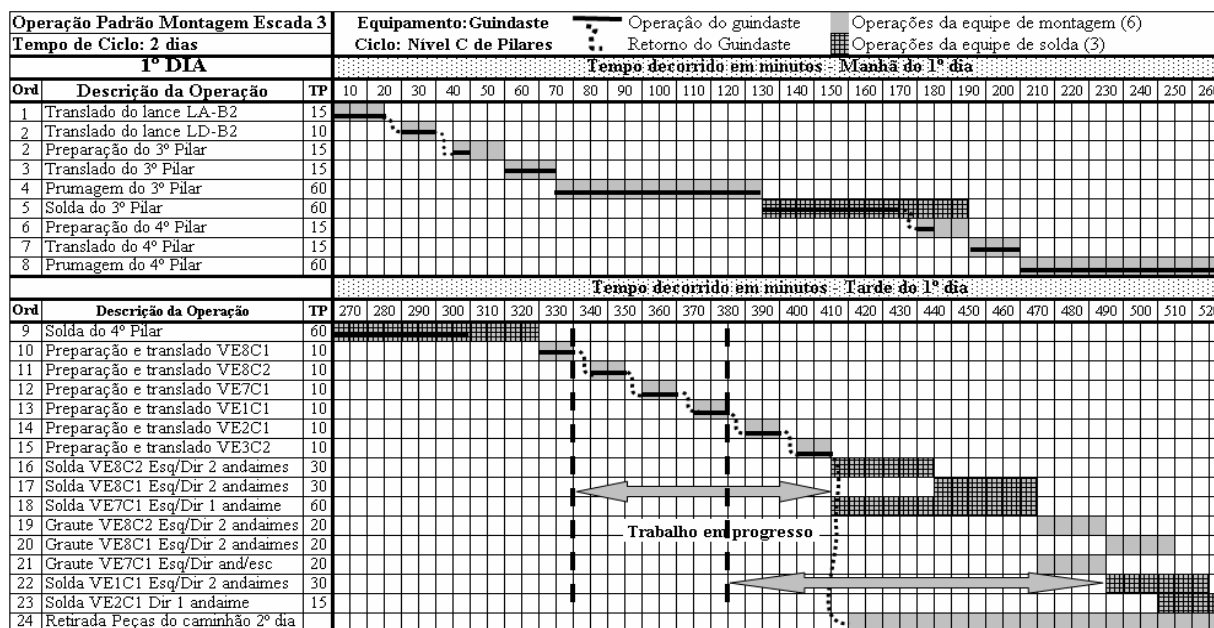


Figura 3 – Planilha de Operação-padrão de um nível da escada

O FRS mostrou-se capaz de fornecer os três elementos necessários à formulação do padrão: tempo de ciclo, seqüência de atividades e quantidade de trabalho em progresso após duas repetições (níveis de escada). Entretanto, deve-se ressaltar que, por questões técnicas e de segurança, a atividade em estudo permitia uma atuação limitada no que se refere a ajustes na quantidade de trabalho em progresso. Dois tipos de recursos trabalhavam de forma dependente, guindaste e soldadores. A operação de solda de cada peça, executada por dois soldadores (um em cada extremidade da viga), era três vezes mais demorada do que a operação de

⁵ Somente os pesquisadores acompanhavam diariamente o desenrolar da montagem. Os engenheiros da EP participavam apenas das reuniões em que os problemas eram discutidos.

⁶ A planilha de operação padrão foi elaborada com base nas orientações de Monden (1998).

translado da peça. A situação ideal corresponderia à execução da solda em seguida ao translado de cada peça, isto é, a inexistência de trabalho em progresso (a partir do fluxo de uma única peça). A opção adotada para o padrão (Figura 3) consistia em transladar todas as peças para, então, iniciar a operação de solda já que, por questões de segurança, não era permitido o translado de peças no momento em que os soldadores estivessem em seus postos de trabalho. Mesmo que nesta situação, a quantidade de trabalho em progresso fosse limitada, havia ainda, a possibilidade de diminuí-la, reduzindo o tempo de ciclo, mediante o treinamento dos operários de montagem para a execução da operação de solda, evitando a contratação de mais soldadores que permaneceriam ociosos durante o translado das peças.

Ainda, como não havia acompanhamento pelos gerentes do processo de montagem, não houve iniciativa para solucionar os problemas com origem no projeto, que causavam mudanças na seqüência de montagem, grandes esperas do guindaste e variabilidade no tempo da operação de encaixe da viga. Desta forma, a implementação de um padrão de montagem acabou não ocorrendo efetivamente.

7 DISCUSSÃO

No estudo desenvolvido confirmou-se a dificuldade apontada por Howell e Ballard (1997) no que se refere a disposição da equipe em submeter-se a experimentações diante de um ambiente de risco de acidentes e de pressão de prazo. Neste sentido, aqueles autores recomendam trabalhar com uma folga de recursos para amenizar esta pressão, porém no caso em estudo, os dois recursos, guindaste e soldadores, apresentavam momentos de ociosidade, causados por limitação de espaço seguro para que ambos pudessem trabalhar simultaneamente. Este ambiente não propício à experimentação foi acentuado por problemas constantes com origem no projeto, que interferiram na seqüência ideal de montagem e acarretaram variabilidade na duração das operações. Em empreendimentos da construção civil, além de falhas nos 5M's, mencionados por Imai (1997) e Liker (2004), a inexistência ou equívoco nas informações de projeto disponíveis representam fonte de incerteza que causam instabilidade na produção, dificultando a definição de um padrão.

A possibilidade de uso antecipado de outros recursos, como a prototipagem, tem especial importância na tentativa de redução da carga de problemas e de incerteza no *FRS*. Nesta situação, em que não era possível construir um protótipo físico em escala real, em que o protótipo é o próprio produto (KOSKELA, 2000), a possibilidade de fazer uso precoce de técnicas como a prototipagem virtual (PV) e a prototipagem rápida (PR), poderia ter contribuído para a detecção de parte dos problemas não observados durante a elaboração no projeto e antecipado a definição da seqüência de montagem.

O acompanhamento no local de montagem permitiu superar as dificuldades que prejudicavam o entendimento do método, mostrando-se fundamental para o desenrolar do *FRS*. Porém, isto não garantiu a solução dos problemas detectados, uma vez que não envolvia as pessoas que tomavam a decisão. Conforme citado por Imai (1997), cerca de 90% das anomalias podem ser resolvidas *in loco* quando os gerentes testemunham os problemas e insistem na solução. Assim, observou-se também que estar junto à produção pode dispensar grande parte da coleta de dados. No presente estudo, a coleta de dados teve como objetivo fornecer informações aos gerentes para a tomada de decisão.

Uma reflexão da equipe, envolvendo pesquisadores, gerentes de produção da EP e da EM e o encarregado de montagem, poderia ampliar o potencial de atuação da ferramenta *FRS*, permitindo incluir elementos importantes da estrutura do STP, tais como o Sistema Nagara⁷ e o treinamento de operários com múltiplas funções, visando atingir o balanceamento da produção, a redução do trabalho em progresso e do *lead time*. Howell e Ballard (1997) relatam que, normalmente, nas aplicações do *FRS*, os ciclos de repetição terminam antes de atingir este estágio. Neste estudo, efetivamente, o *FRS* atingiu o início da segunda etapa descrita por Howell e Ballard (1997), em que é proposto o redesenho das operações.

⁷ O Sistema Nagara consiste na execução simultânea de operações secundárias e principal, utilizando-se dos tempos de folga associados à operação principal, como forma de imprimir um fluxo contínuo a cada peça fabricada (SHINGO, 1996; GHINATO, 1996).

8 CONCLUSÕES

O estudo permitiu concluir que, embora o *FRS* seja recomendado para reduzir a incerteza proveniente do baixo conhecimento do método de trabalho no *Last Planner*TM, ainda há outras fontes de incerteza não devidamente resolvidas pelos mecanismos adotados dentro do próprio *Last Planner*TM que contribuem para que o *FRS* não atinja seu objetivo.

Pesquisas em outros setores industriais indicam que o uso antecipado e encadeado de recursos de experimentação, tais como, a prototipagem virtual e a prototipagem física, reduzem a carga de incerteza na produção, permitindo um ambiente propício à prototipagem na produção. Estes recursos ainda não são explorados com o enfoque para a gestão do processo de produção em empreendimentos de construção civil.

Portanto, existe um vasto campo para pesquisa nesta área. Este estudo indicou a necessidade de explorar os requisitos e benefícios advindos destes outros recursos da prototipagem. Estes requisitos e benefícios investigados não devem se restringir à definição dos elementos do padrão porque isto conduziria a um enfoque de gestão voltado ao planejamento. Devem ser pesquisados, principalmente, os outros propósitos da prototipagem citados por Ulrich & Eppinger, 2000, relacionados à cooperação entre as organizações envolvidas, à comunicação e à aprendizagem, investigando a hipótese de que uma evolução nestas áreas possa levar o *FRS* a um estágio de auto-organização da equipe que permita reagir ao ambiente dinâmico sem a existência de um padrão.

9 REFERÊNCIAS

- ABDELHAMID, T. The self-destruction and renewal of lean construction theory: a prediction from Boyd's theory. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12, 2004, Elsinore, Denmark. **Proceedings...** Elsinore. 2004. 19p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>.
- BALLARD, H. G. **The last planner system of production control**. May, 2000. 146p. Doctor of Philosophy Thesis, The University of Birmingham, Birmingham.
- BALLARD, H. G. Improving work flow reliability. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7, 1999, Berkeley. **Proceedings...** Berkeley, 1999. 12p.
- BERTELSEN, S. Complexity – construction in a new perspective. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 11, 2003, Virgínia. **Proceedings...** Virgínia. 2003. 12p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>.
- BERTELSEN, S.; KOSKELA, L. Construction beyond lean: a new understanding of construction management. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12, 2004, Elsinore, Denmark. **Proceedings...** Elsinore. 2004. 12p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>.
- BROWN, S.L.; EISENHARDT, K.M. Product development: past research, present findings and future directions. *Academy of Management Review*, v. 20, n. 2, p.343-378, 1995.
- CHEW, W.B.; LEONARD-BARTON, D.; BOHN, R.E. Beating Murphy's law. **Sloan Management Review**. v. 32, n. 3, p. 5-16, Spring 1991.
- CAMBRAIA, F. B. **Gestão integrada entre segurança e produção: refinamentos em um modelo de planejamento e controle**. 2004. 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PPGECC / UFRGS, Porto Alegre.
- CLARK, K.B., CHEW, B.W., FUJIMOTO, T. Manufacturing for design: beyond the production/R&D dichotomy. In: **Integrating Design and Manufacturing for Competitive Advantage**. Edited by Susman, Gerald I. Oxford University Press, Inc., 1992.
- GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção** - Mais do que Simplesmente Just-In-Time. Editora da Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 1996, 175p.
- HOWELL, G; BALLARD, G. Factors affecting project success in the piping function. In: ALARCÓN, L. (Ed.). *Lean Construction*. Rotterdam: Balkema, 1997. p.161-185.

- HOWELL, G. BALLARD, G. "Can project controls do its job?". In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 4.,1996, Birmingham. Proceedings... Birmingham, 1996. Disponível em: <<http://cic.vtt.fi/lean/>>.
- HOWELL, G. BALLARD, G. Design of construction operations. **White Paper 04**. [S.l.]: Lean Construction Institute, 1999. Disponível em: <<http://www.leanconstruction.org>>. Acesso em: 10 jun. 2003.
- IMAI, M.. **Gemba Kaizen**: a commonsense, low-cost approach to management.. McGraw-Hill, 1997, 343p.
- JOHNSTON, R.B. & BRENNAN, M. Planning or organizing: the implications of theories of activity for management of operations. **Omega, Int. J. Mgmt. Sc.**, Vol. 24, No. 4, pp. 367-384, 1996.
- KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 298p. Doctor of Philosophy, Helsinki University of Technology, VTTTechnical Research Centre of Finland, Espoo.
- KOSKELA, L. On new footnotes to Shingo. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9, Singapore, 2001. **Proceedings** ... Singapore, 2001, 12p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>.
- KOSKELA, L.; HOWELL, G. The theory of project management: explanation to novel methods. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10, 2002, Gramado. **Proceedings**... Gramado, 2002. 11p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>.
- LIKER, J. K. **The Toyota Way**: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. McGraw-Hill, 2004, 352p.
- LUCAS, C. The Philosophy of Complexity. 2000. Disponível em www.calresco.org/themes.htm.
- MONDEN, Y. **Toyota Production System**: an integrated approach to just-in-time. 3rd Edition. Industrial Engineering and Management Press, 1998.
- PATTERSON, M.L. Leading product innovation: accelerating growth in a product-based business. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1999, 413p.
- REINERTSEN, D. Managing the Design Factory: A Product Developer's Toolkit. New York: Free Press, 1997, 269p.
- RODRIGUES, A. BOWERS, J. The Role of System Dynamics in Project Management. **International Journal of Project Management**. V 14. n. 4. pp 213-220. 1996
- ROSENTHAL, S.R. & TATIKONDA, M. V. Competitive advantage through design tools and practices. In: Integrating Design and Manufacturing for Competitive Advantage. Edited by Susman, Gerald I. Oxford University Press, Inc., 1992.
- SHINGO, S. Sistemas de produção com estoque zero: **o sistema Shingo para melhoria contínua**. Porto Alegre: Bookman, 1996, 380p.
- TREVILLE, S; ANTONAKIS, J. Could lean production job design be intrinsically motivating? Contextual, configurational, and levels-of-analysis issues. **Journal of Operations Management**, v. 24, n. 2, p. 99-123, 2005.
- ULRICH, K.T. & EPPINGER, S.D. Product design and development. Second edition,London: McGraw-Hill, 2000, 358p.

10 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Programa PQI), pela disponibilização de bolsas de estudo e às empresas que participaram e contribuíram para a realização deste estudo.