Novas Categorias de Perdas e sua Incidência em Sistemas Industrializados na Habitação

Lucila Sommer
Carlos Torres Formoso
Daniela Dietz Viana

1. Introdução

O uso crescente de sistemas industrializados em empreendimentos habitacionais constitui-se em uma das importantes estratégias adotadas pelo setor da construção civil para obter melhorias de eficiência e redução de prazos na entrega das obras. Entretanto, deve-se salientar que, para que isso aconteça, há a necessidade de mais esforços em planejamento, coordenação e controle dos sistemas de produção, a fim de que sejam obtidos os benefícios potenciais da industrialização.

Segundo Koskela e Vrijhoef (2000), a falta de sucesso na industrialização da construção deve-se principalmente à utilização de métodos de gestão baseados em conceitos de gestão da produção obsoletos, com foco apenas nas atividades de transformação. Em muitas situações, atenta-se apenas para a modernização e industrialização das atividades de transformação, sendo negligenciadas as atividades que não agregam valor, tais como transporte, estoques, esperas e inspeção (KOSKELA, 1992). Höök e Stehn (2008) sugerem que, embora os sistemas industrializados reduzam alguns tipos de complexidade e perdas existentes na construção, eles também introduzem outras fontes de dificuldade devido à necessidade de integrar diferentes unidades de produção (projeto, fábrica, logística e montagem) e ainda alteram os papéis de diferentes agentes da cadeia de suprimentos.

A aplicação de conceitos e princípios da Filosofia da Produção Enxuta pode contribuir para a implementação de sistemas industrializados, visto que se busca um equilíbrio entre as melhorias nas atividades de transformação e a eliminação de atividades que não agregam valor. A Produção Enxuta é uma filosofia que emergiu na indústria automobilística do Japão e que mudou a forma de gestão dos sistemas de produção em diferentes setores ao longo das últimas décadas, sendo uma abordagem predominante em empresas de desempenho destacado em diferentes indústrias.

Este capítulo discute o conceito de perdas na construção, propondo uma forma de mapeamento dessas perdas, de forma a entender as relações de causa e efeito existentes. São destacadas três categorias de perdas, as quais normalmente não recebem a devida atenção no contexto da construção civil: trabalho em progresso, *making-do* e trabalho inacabado. Ao final, são discutidos brevemente os resultados de estudos sobre sistemas industrializados, que adotaram tais conceitos.

2. O Papel das Perdas

Na filosofia da produção enxuta, perdas são atividades desnecessárias que geram custos e não agregam valor ao produto final (SHINGO, 1996). Ohno (1997) propôs um conjunto de categorias de perdas existentes no Sistema Toyota de Produção com o objetivo de auxiliar na compreensão dos fundamentos da gestão da produção e orientar ações para a implementação de melhorias. São conhecidas como as Sete Perdas do STP: estoque, transporte, superprodução, defeito, espera, movimentação e processamento. A partir destas categorias originais, diversas propostas de novas categorias surgiram com a mesma finalidade, isto é, identificar oportunidades de melhoria nos sistemas produtivos, tais como acidentes, projeto de produtos que não atendem às necessidades dos clientes (WOMACK; JONES, 1996), investimentos de capital desnecessários (MONDEN, 1983), roubo e vandalismo (BOSSINK; BROUWERS, 1996). Segundo Shingo (1996), o papel principal das diferentes categorias de perdas é chamar a atenção para os problemas que existem em determinados contextos, mas que não são óbvios na perspectiva dos profissionais que atuam na prática.

A partir de uma revisão sistemática de literatura, Viana et al. (2012) fizeram uma análise crítica dos estudos sobre perdas na construção, chegando às seguintes conclusões:

- De forma geral, a revisão sistemática de literatura identificou que o número de artigos sobre perdas na construção é relativamente pequeno, considerando a relevância do tema; no setor da construção;
- Em muitos estudos, o conceito de perdas adotado não é apresentado de forma clara, mas somente discutido em um nível mais abstrato. Em geral,

descreve-se apenas as medidas operacionais utilizadas para guiar a coleta de dados;

- Diferentes conceitos são adotados para descrever o mesmo tipo de perda, tornando difícil a realização de análises comparativas entre diferentes estudos. Por exemplo, diversos artigos discutem a incidência de retrabalhos em empreendimentos de construção (ASHFORD, 1992; LOVE et al., 2010), mas não discutem em profundidade o conceito de retrabalho. Alguns, ademais, não apresentam claramente a origem dos dados. Como consequência, as contribuições sobre como medir retrabalhos e suas causas fundamentais são muito limitadas;
- Diversos indicadores têm sido utilizados para medir perdas. Alguns são expressos em quantidades físicas, tais como o volume de entulho removido de canteiros de obras (POON et al., 2004), já outros são medidos em custos, tais como produtos defeituosos (BURATI; FARRINGTON; LEDBETTER, 1992) e retrabalho (HWANG et al., 2009). O tempo tem sido também utilizado como uma importante medida de perdas, principalmente com o objetivo de identificar a parcela de tempo que não agrega valor em um processo (YU et al., 2009).

Formoso et al. (2015) destacam a importância de se compreender a relação de causa e efeito que existem entre as diferentes categorias de perdas. Os referidos autores caracterizam essas relações como formas de propagação da variabilidade no processo de construção. A Figura 1 apresenta uma representação de tais relações de causa e efeito, levantadas a partir de diferentes estudos sobre perdas reportados na literatura. A figura está dividida em três zonas: (a) na parte superior, aparecem as categorias de perdas denominadas de terminais, ou seja, aquelas que são consequências de outras categorias de perdas; (b) na parte intermediária, são reunidas as categorias denominadas de perdas na produção, que se referem a fenômenos importantes na produção que devem ser controlados para evitar as perdas terminais; e (c) os processos predecessores da produção, que podem contribuir para a ocorrência de perdas. Tal mapeamento pode indicar as categorias de perdas que mais interagem com as demais, ou seja, aquelas que têm mais centralidade na rede de relação causa-efeito. Assim, o mapa sugere que o foco seja deslocado para as causas das perdas, em vez de tentar monitorar ou controlar as consequências das perdas na produção.

No presente trabalho, buscou-se investigar três categorias de perdas que tem um elevado impacto no desempenho da construção, particularmente quando se utiliza sistemas industrializados. São elas: *making-do* (KOSKELA, 2004; FORMOSO et al., 2011), falta de terminalidade (FIREMAN, 2012; ALVES, 2000) e trabalho em progresso (BASHFORD et al., 2003). Tais categorias de perdas estão fortemente relacionadas ao conceito de lote de produção, o qual se refere à realização dos processos em cada

unidade de produção (ou controle), que pode ser um setor da obra, um pavimento, uma casa, ou um apartamento. A seguir, cada uma dessas categorias de perdas é discutida em mais profundidade.

Figura 1 – Rede Causal de Perdas na Construção. Fonte: Formoso et al., 2015.

2.1 Trabalho em Progresso

Trabalho em progresso pode ser associado às perdas por espera: ao se concluir uma determinada etapa, aguarda-se o momento de início da etapa seguinte. Para Shingo (1996), essa perda refere-se aos estoques de produto inacabado existentes entre as etapas de processamento, os quais podem estar associados a itens não concluídos que estão à espera do processamento. Tal estoque pode ser gerado em função de superprodução, ou seja, quando há excesso de estoques de produtos produzidos antecipadamente a espera de serem processados. No contexto da construção, esta perda normalmente é associada à espera entre processos (BULHÕES, 2009; SAFFARO, 2007) ou ao excesso de frentes de serviço abertas (BASHFORD et al., 2003).

As causas para o trabalho em progresso estão relacionadas a sistemas de produção que utilizam grandes lotes de produção, resultando no aumento do tempo

de espera para um item ser processado. Outro fator que contribui para o surgimento dessa perda é a relação contratual tradicional da construção civil (SACKS et al., 2009). Tais contratos normalmente apresentam cláusulas de remuneração que estimulam a otimização local em detrimento da busca pelo melhor desempenho global do empreendimento. Esta situação faz com que as equipes subcontratadas busquem realizar trabalhos que resultem em uma maior produtividade, abrindo várias frentes de serviço, em vez de completar as atividades em lotes já iniciados.

2.2 Falta de Terminalidade

Segundo Alves (2000), a falta de terminalidade refere-se à não finalização das tarefas nos prazos estipulados e em conformidade com os critérios de qualidade pré-estabelecidos, requerendo o retorno posterior de alguma equipe para a realização de retrabalhos ou arremates. Assim, a falta de terminalidade contribui para o aumento de trabalho em progresso, pois o tempo para sua conclusão aumenta, assim como o tempo de liberação da unidade para atividades posteriores. Entre os fatores que influenciam a falta de terminalidade das tarefas, destaca-se o grau de definição dos pacotes de trabalho e o adequado sequenciamento dos processos. Além disso, muitas dessas atividades são realizadas informalmente, sujeitando-se às incertezas e aumentando a ocorrência de outros tipos de perdas na construção, devido à necessidade de refazer trabalhos já executados, aumentando a quantidade de retrabalho e de trabalho em progresso (FIREMAN, 2012).

Dificuldades na execução do controle da qualidade podem também ser uma possível causa do aumento do trabalho em progresso: se uma equipe não concluir adequadamente a sua tarefa, as falhas de qualidade são detectadas tardiamente, após o deslocamento da equipe para outra frente de trabalho, deixando o local em espera para ser corrigido.

2.3 *Making-do*

Segundo Koskela (2004), entende-se como *making-do* uma situação em que uma tarefa é iniciada sem que todos os recursos necessários estejam disponíveis para que o trabalho inicie ou continue adequadamente até o seu término. O termo “recursos” refere-se não somente a materiais, mas a todos os outros recursos, como máquinas, ferramentas, pessoal, espaço, condições externas, informações, entre outros. Sem as condições adequadas, podem ser realizadas improvisações para que seja dada continuidade ao trabalho das equipes, que realizam ações não especificadas a fim de que o serviço não seja interrompido. Diferentes formas de *making-do* podem ser identificadas em canteiros de obras (Quadro 1) e estão relacionadas aos recursos que não estão disponíveis no local e momento certos para o processamento (SOMMER, 2010).

Quadro 1 – Categorias de *Making-do* Observadas em Canteiros de Obras (SOMMER, 2010).

Categorias de <i>Making-do</i>	Definição
Acesso/mobilidade	Relativo ao espaço, meio ou forma de posicionamento de quem executa as tarefas
Ajuste de componentes	Artifícios para uso de componentes não adequados à realização das tarefas
Área de trabalho	Refere-se à bancada de trabalho ou área de apoio durante as atividades realizadas
Armazenamento	Organização de materiais ou componentes em locais não preparados para o seu recebimento
Equipamentos/ferramentas	Criados ou adaptados para uso durante as atividades
Infraestrutura para o trabalho	Criados ou adaptados para uso durante as atividades
Proteção	Forma de uso dos sistemas de proteção
Sequenciamento (FIREMAN, 2012)	Alteração na sequência de execução

Para Fireman (2012), há uma forte relação entre perdas por *making-do* e a existência de pacotes informais, ou seja, pacotes de atividades que são executadas sem terem sido planejadas e cujos pré-requisitos nem sempre são verificados de forma sistemática. Consequentemente, falta de terminalidade das atividades, trabalho em progresso e aumento do *lead time*¹ também podem ser observados devido aos pacotes de trabalho informais no canteiro de obras

O *Making-do* tem como causa principal as deficiências na realização do planejamento de médio prazo, em que as restrições não são devidamente removidas (FIREMAN, 2012; SOMMER, 2010). O início das tarefas sem que estejam disponíveis todos os recursos necessários e devido a reações das equipes para que o trabalho não seja interrompido podem ainda ter como consequência a diminuição da produtividade; desmotivação; perdas de materiais; retrabalho; redução da segurança; e redução da qualidade (FORMOSO et al., 2011).

Neste sentido, Formoso et al. (2011) destacam que, embora a elaboração e o cumprimento de procedimentos padronizados possam contribuir para a redução das perdas por *making-do*, tais medidas não são suficientes para a sua total eliminação. Os mesmos autores apontam também para a necessidade de se dedicar um esforço de projeto de processos e operações, por meio de, por exemplo, simulações 4D ou realização de protótipos físicos, e também a remoção sistemática de restrições em nível de médio prazo. Tais problemas são incidentes tanto em sistemas construtivos tradicionais, como também em sistemas industrializados, embora nestes últimos

1 Tempo de atravessamento contado do pedido até a entrega de um produto.

existe um maior potencial para a sua redução, já que eles têm normalmente menores possibilidades de improvisação.

3. Identificação e Mensuração das Perdas

3.1 Trabalho em Progresso

O trabalho em progresso pode ser identificado pela quantidade de estoques intermediários de elementos já fabricados ou parcialmente montados ou pelas unidades produtivas finalizadas. Para sistemas que possuem etapas de pré-montagem, a quantidade de elementos pré-montados em relação ao que já foi montado indica a quantidade de trabalho em progresso relativamente ao total da obra. Em estruturas metálicas, geralmente esse indicador é medido em kg de aço, já em estruturas pré-moldadas de concreto, em m³ de concreto. Pode-se também medir a aderência ao sequenciamento dos lotes, ao longo das diferentes etapas construtivas, e avaliar os ganhos de produtividade obtidos com os sistemas industrializados, no decorrer de toda obra.

O trabalho em progresso deve medir a quantidade de trabalho pronto a ser entregue na próxima etapa ou ao cliente final e aquela que está em espera, devendo-se adotar a mesma unidade de trabalho, capaz de atender diferentes serviços. Seguem os passos para quantificar o trabalho em progresso:

- Definir os lotes de controle (por exemplo, unidade, pavimento, casa, ou setor);
- Identificar todos os serviços que fazem parte do escopo da obra;
- Multiplicar o número de lotes pelo número de frentes de trabalho, a fim de se obter o número total de lotes de trabalho (LT);
- Definir um ponto de verificação dos serviços para o aceite do lote e a entrega do serviço seguinte;
- Contabilizar os lotes com tarefas já concluídas para cada serviço (LC);
- Contabilizar os lotes com tarefas em andamento para cada serviço (LA);
- Contabilizar o número de lotes em espera para iniciar um novo serviço (LE);
- Calcular o percentual de trabalho em progresso conforme a Equação 1:

$$\text{Trabalho em Progresso} = \frac{LE}{LT} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Semanalmente, ao verificar o andamento dos pacotes de serviço, o indicador pode ser atualizado. Da mesma forma, se for substituído na expressão acima LE por LC, tem-se como resultado o avanço físico da obra, Equação 2:

$$\text{Avanço Físico} = \frac{LC}{LT} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

3.2 Falta de Terminalidade

Da mesma forma que o trabalho em progresso, a falta de terminalidade pode ser medida por meio da identificação dos lotes que não estão prontos, impedindo o serviço subsequente de ser iniciado. Pode ser associado ao controle de qualidade e identificado mediante os serviços que apresentam não conformidades, ou apenas identificado por meio de lotes que foram iniciados, porém, estão sem equipe alguma realizando o trabalho. O número de frentes de trabalho existentes multiplicadas pelo número de lotes cujo trabalho foi iniciado e não finalizado ou aceito indica o volume de trabalho incompleto (LI), Equação 3.

$$\text{Falta de Terminalidade} = \frac{LI}{LT} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Outra abordagem para quantificar o trabalho em progresso é a realização de rotinas de controle da produção dos pacotes de trabalho que estão sendo executados. Ao identificar equipes trabalhando em pacotes que não foram planejados, denominados de pacotes de trabalho informais, deve-se verificar se o trabalho está associado a algum retrabalho, finalização do serviço não concluído na semana anterior e não planejado, arremates ou novas equipes iniciando serviços antes do previsto.

3.3 *Making-do*

A identificação e quantificação de *making-do* pode ser realizada pela observação direta das tarefas realizadas nos canteiros de obras e a sua comparação com padrões ou melhores práticas estabelecidas. Sommer (2010) propôs um protocolo para a mensuração desse tipo de perda, o qual foi complementado pelos estudos de Leão (2014) e Ibarra, Formoso e Lima (2016). As principais etapas deste protocolo estão apresentadas a seguir:

- Descrever a improvisação observada e fazer um registro fotográfico;
- Identificar os pré-requisitos que não estavam disponíveis;
- Analisar possíveis impactos devido à ação realizada;
- Categorizar os casos (conforme o Quadro 1) e identificar as suas possíveis causas;

- Quantificar o percentual de cada categoria em relação ao total de eventos identificados. Pode-se também mensurar a incidência de *making-do*, de forma relativa, por meio da relação de pacotes de trabalho com improvisação e o número total de pacotes.

4. Estudos de Caso

4.1 Obra com Estrutura Metálica

A análise relativa ao trabalho em progresso foi a base para compreender o sistema de planejamento e controle da produção de uma empresa que projeta, fabrica e monta sistemas construtivos metálicos. Inicialmente, foi observado um alto índice de atraso na entrega das obras. A análise aprofundada das causas desse atraso apontou para problemas na estratégia de entrega de componentes por parte da fábrica. A partir de tal constatação, foi iniciado um estudo mais amplo, envolvendo os diferentes processos envolvidos na fabricação e entrega dos componentes para as obras.

Cada empreendimento era dividido em grandes etapas de produção que, por sua vez, eram divididas em subetapas, conforme o projeto executivo (estrutura primária, secundária, fechamento, telhas, etc.). Esta prática permite a redução do tamanho do lote de transferência entre cada uma das fases do processo, o que deveria reduzir o tempo de entrega. Entretanto, os incentivos dados aos departamentos relacionados ao processo de produção não estavam atrelados ao fechamento das subetapas, mas ao volume de produção.

Desta forma, cada departamento se beneficiava ao atingir uma determinada tonelagem de componentes produzidos. Esse incentivo fazia com que o departamento de projeto priorizasse os projetos mais fáceis e a fábrica produzisse os componentes mais pesados, criando um alto nível de estoque entre cada uma das fases e dificultando o envio dos componentes a obra. Para evitar o envio de peças que não pudessem ser montadas, as subetapas eram pensadas de forma a englobar todos os produtos necessários para a montagem dos componentes. A prática de priorizar produtos pesados fazia com que muitos componentes ficassem prontos muito antes dos demais produtos correspondentes ao seu lote.

A Figura 2 representa a quantidade de materiais armazenada no pátio de uma das fábricas, ressaltando o quanto desse total representava um lote completo para ser mandado para a obra. O departamento de logística, responsável pela entrega dos materiais à obra, tinha apenas uma parcela do estoque para ser efetivamente enviada à obra.

Figura 2 – Total de materiais estocados no pátio da fábrica (em toneladas).

Ao cruzar as informações sobre o tempo que os componentes aguardam no pátio da fábrica e quão antecipada foi a produção, observou-se um alto desalinhamento entre a fabricação e a real necessidade das peças. A Figura 3 apresenta esquematicamente essa comparação, em um dia de pátio. É possível observar que a maioria dos componentes armazenados foram produzidos antecipadamente, o que significa que não havia tempo disponível para alterações nos pedidos realizados pelos clientes. A empresa tinha uma abordagem centralizada de planejamento e controle da produção, e não costumava avaliar sistematicamente as reais demandas das obras. Cabe lembrar que em ambientes complexos, as demandas são emergentes e dinâmicas, sendo muito pouco aplicável um método de controle baseado na aderência a um plano definido apenas com base em estimativas de demanda de longo prazo.

Figura 3 – Trabalho em progresso na fabricação dos componentes.

A principal causa da espera dos componentes estocados no pátio era a falta de condições do canteiro para que se realizasse o descarregamento dos componentes, seja devido a restrições de espaço, seja devido à falta de equipes para produção.

O impacto dessa prática no canteiro de obras pode ser observado na Figura 4. A maioria (61%) das subetapas esperam mais de 10 dias no canteiro antes de serem utilizadas na montagem, 25% foram entregues antecipadamente. A Figura 4 indica que receber os componentes de forma antecipada não reduzia o tempo de montagem, devido ao desalinhamento das entregas e fases da obra. Em outras palavras, os lotes entregues não eram os que a obra estava realmente necessitando.

Constatou-se também a ocorrência de tempos de espera negativos, ou seja, embora apenas parte dos componentes da subetapa estivesse disponível, o engenheiro da obra decidiu iniciar o processo de montagem de qualquer maneira, completando com componentes similares de outros lotes. Trata-se de um exemplo de *making-do* que ocorria nas obras.

Figura 4 – Impacto das antecipações nos canteiros de obra.

A análise do trabalho em progresso nessa empresa permitiu uma melhor compreensão das deficiências do sistema de planejamento e controle existente. Esse tipo de sistema é baseado em uma abordagem de planejamento centralizada, na qual os planos de longo prazo dificilmente são alterados. Isso dificulta que o sistema seja capaz de enfrentar o nível de incerteza inerente à natureza desse tipo de produção.

4.2 Obra em *light steel frame*

A identificação e monitoramento das perdas foi usada neste estudo para avaliar a implementação de um sistema construtivo por uma empresa construtora que tinha pouca experiência com esse tipo de sistema construtivo. A obra consistia na construção de sobrados, com estrutura em *light steel frame*. A partir da verificação do andamento da produção semanal, foram coletados dados que indicassem ações necessárias para se obter os resultados esperados a partir da escolha do sistema construtivo.

A base para a análise era o plano semanal, no qual eram descritas as tarefas planejadas, o lote e a equipe responsável pela tarefa. Nesse caso particular, o lote era representado por um conjunto de casas geminadas em fita. A partir dos dados de planejamento, o Quadro 2 foi usado como ferramenta de coleta de dados em campo. Todos os pacotes do plano eram transcritos para a ferramenta indicando o lote, a tarefa, a equipe e o tipo de pacote de trabalho, sendo todos eles formalmente planejados. A rotina de monitoramento consistia em verificar todo o trabalho que estava sendo realizado no canteiro. Caso o serviço não fizesse parte do plano, era indicado o local (lote), o que estava sendo realizado (descrição da tarefa), quem estava executando (equipe) e registrado como pacote informal, informando a causa: retrabalho, falta de terminalidade ou novos pacotes iniciados após elaboração dos planos. Se fosse identificado algum caso de *making-do*, eles eram também identificados quanto a sua categoria e causa. No final da semana, eram contabilizados os pacotes que tinham sido concluídos.

Quadro 2 – Ferramenta de Coleta de Dados.

Lote	Descrição da Tarefa	Equipe	Pacote de Trabalho	Causa	Conclusão S/N	Categoria <i>Making-do</i>	Causa

A partir de cinco semanas de coleta, foi monitorado o número de pacotes de trabalho informais devido à falta de terminalidade: em média, 33% dos pacotes observados eram informais, dos quais mais de 60% ocorriam em virtude da falta de terminalidade, gerando mais trabalho em progresso e tornando mais difícil o controle

da produção. Inicialmente, a falta de cumprimento dos planos era atribuída às equipes de montagem devido apenas à baixa produtividade e ao pouco comprometimento com os planos. Entretanto, a partir da análise realizada, ficou evidente que as equipes não concluíam os pacotes planejados pela necessidade de realizar retrabalhos ou ajustes por conta de falhas de projeto, principalmente no que se referia à compatibilização entre a estrutura e o radier.

As atividades de logística foram analisadas separadamente, por evento identificado. Foram observadas perdas por transporte acima do esperado em decorrência de obstáculos nas rotas de acesso, limitações de altura ou dificuldade de acesso dos equipamentos utilizados para apoiar as atividades. Constatou-se ainda que 48% das perdas por transporte observadas ocorreram durante a execução de pacotes de trabalho formais, 39% não estavam relacionadas a pacotes de trabalho e 13% ocorreram durante a execução de pacotes de trabalho informais. Em dois terços dos eventos de perdas por transporte, foi possível relacioná-las a outros tipos de perdas, tais como *making-do*, retrabalho, falta de terminalidade e trabalho em progresso.

Dentre os casos de *making-do* observados, 30% foram identificados durante a montagem dos componentes do sistema *light steel frame*, enquanto 70% foram observados nas etapas de infraestrutura e instalações provisória da obra. Entre as principais causas desses tipos de perda, destacam-se algumas práticas tradicionais de projeto, tal como a falta de planejamento das estruturas de apoio, as quais eram frequentemente adaptadas pelas equipes, como nos exemplos da Figura 5. Adaptações foram observadas também durante as etapas de escoramento, devido à ausência de projeto ou componentes para a estabilização da estrutura durante o processo de montagem. Inicialmente, a equipe utilizou madeira, que logo foi substituída por componentes da própria estrutura, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 5 – Exemplos de *Making-do* devido à ausência de acesso adequado.

Figura 6 – Improvisações para componentes de escoramento.

No Quadro 3, estão sintetizadas as ações propostas para melhoria do desempenho da etapa de montagem das estruturas. Dentre as causas das perdas identificadas, destacam-se como necessárias as ações voltadas para as etapas de projeto do sistema de produção, planejamento da produção e de logística.

Quadro 3 – Ações identificadas a partir da análise das perdas.

Perdas	Causas	Ações
Falta de Terminalidade	Parâmetros de qualidade discutidos pela equipe e seus fornecedores eram pouco claros; Encontro entre concreto e estrutura de aço não detalhado; Tolerância das fundações incompatível com a da estrutura; Lotes muito grandes, até 8 casas com 2 pavimentos.	Desenvolver um projeto de montagem capaz de ampliar a comunicação, a transparência e reduzir as perdas. Reduzir tamanho do lote.
Transporte	Acesso restrito ou obstruído; Áreas de estoque não adequadas; Empacotamento impróprio; Equipamentos indisponíveis ou não adequados.	Planejamento da logística, envolvendo a integração dos planos de fabricação, logística e montagem.
<i>Making-do</i>	Acesso inadequado ou falta de mobilidade para execução das tarefas; Áreas de estoque não adequadas; Instalações provisórias inadequadas; Equipamentos/Ferramentas não disponíveis ou inadequadas.	Rever meios de flexibilizar as diferenças entre as tolerâncias dos sistemas de fundações e de LSF. Desenvolver PCP, principalmente no que diz respeito ao processo de identificar e remover restrições.

4.3 Obra em Concreto Pré-Moldado

Este estudo foi realizado em uma obra de construção de um edifício habitacional para baixa renda, com estrutura pré-fabricada de concreto, em Hong Kong. Nesse projeto havia um sistema para rastreamento eletrônico dos componentes de fachada pré-moldada, cujos dados foram utilizados para mensurar perdas entre os processos de fabricação, logística e montagem. Foram monitorados os tempos de espera para completar os lotes na fábrica, transporte e espera no canteiro. Já entre as etapas de estruturas e acabamentos, foi medido o trabalho em progresso e a falta de terminalidade. O lote de montagem da estrutura consistia na metade de um pavimento de 1.000m², composto por 23 painéis pré-moldados de concreto para fachada.

Os dados de rastreamento foram obtidos pela leitura de uma etiqueta inserida no painel com um código RFID², em 4 momentos: final da concretagem na fábrica, saída da fábrica, recebimento no canteiro e montagem. Os tempos foram quantificados conforme os lotes de produção, a partir das datas da primeira e última peça, para as seguintes variáveis:

- TC_F – tempo de ciclo para fabricação do lote, medido pela leitura da data de concretagem do último painel do lote subtraindo-se a data de fabricação do primeiro e acrescentando-se o tempo de fabricação de um painel, descontados os dias não úteis;
- TE_F – tempo do lote em espera para ser completado, medido pela diferença do tempo entre a fabricação do último componente e o primeiro, descontados os dias não úteis;
- TT – tempo de transporte do lote, medido pelo período entre a data de recebimento do lote menos a data de saída;
- TE_C – tempo de espera do lote no canteiro, medido pelo período entre a data de montagem e a data de chegada no canteiro;
- TL – tempo para logística, sendo $TL = TE_F + TT + TE_C$;
- TC_M – tempo de ciclo da montagem, medido pelo período entre as datas de concretagem das lajes de cada lote.

A partir do mapa do fluxo de valor, quantificou-se em 72 dias o tempo gasto desde o pedido até a conclusão do lote no canteiro (*lead time*). Destes, apenas 22 dias são necessários para o processamento. Com base em dados de 26 pavimentos, construídos por 52 lotes com 23 componentes, os resultados indicaram que, na

2 RFID- Identificação por radiofrequência ou RFID (do inglês "*Radio-Frequency IDentification*") é um método de identificação automática através de sinais de rádio, recuperando e armazenando dados remotamente através de dispositivos denominados etiquetas RFID.

fabricação, ocorriam os maiores tempos de trabalho em progresso e variabilidade conforme observado nas Figura 7, 8 e 9.

Figura 7 – Tempo de Ciclo de fabricação por lote e pavimento (dias).

Figura 8 – Tempo de processamento na Fábrica (dias).

Figura 9 – Tempo de espera para completar o lote de entrega (dias).

Nas etapas de logística, representadas pelo tempo em estoque (Figura 10), em transporte (Figura 11) e pela espera no canteiro (Figura 12), foram calculadas as médias dos tempos dos componentes de cada lote. Inicialmente, a estratégia da fábrica foi iniciar a produção 3 meses antes do início da montagem para garantir o estoque mínimo de 4 lotes.

Figura 10 – Tempo médio do lote em estoque na fábrica em dias.

Uma das principais preocupações em relação à confiabilidade do processo de montagem era o tempo de transporte devido à fronteira existente entre a fábrica (na China) e o canteiro (em Hong Kong). Em função desse problema, foi definido um local

próximo ao canteiro como área de estoque intermediário. Assim, atrasos na logística ou na montagem seriam absorvidos sem comprometer a confiabilidade de entrega.

Figura 11 – Tempo médio do lote em transporte em dias.

Como o ciclo de execução do pavimento envolvia também a concretagem *in loco* de outros elementos estruturais, atrasos na montagem eram frequentes. A quantidade de componentes pré-moldados nessa obra era de apenas 30% do volume total de concreto.

Figura 12 – Tempo médio de espera do lote no canteiro em dias.

A etapa de montagem, que envolvia a montagem dos componentes pré-moldados e também de formas e estrutura de aço, havia sido planejada para entregar

um pavimento a cada 6 dias, sendo o tempo de ciclo do pavimento previsto para 9 dias (Figura 13).

Figura 13 – Tempo de Ciclo Montagem do Lote (dias).

Com base na quantificação das perdas, feita a partir dos dados de rastreamento de componentes, foram identificadas oportunidades de melhorias no sistema de gestão da produção (Quadro 4), por meio do aumento da transparência entre diferentes áreas da empresa. Nesta análise, buscou-se questionar a visão tradicional de que se opera com recursos ilimitados à montante, o que resulta na não consideração das perdas nos processos de fabricação e logística.

Quadro 4 – Síntese das Causas e Oportunidades observadas.

	Fabricação	Logística	Montagem
Tempos máx. e mín.	20,17 – 76,50 dias	0,5 – 4,73 dias	0,5 – 7,54 dias
Causas	Superprodução, adaptação de formas, lote planejado diferente do entregue, variabilidade na montagem	Trânsito, fronteira, inspeções da qualidade, estoque intermediário	Atrasos do fornecedor de concreto, disponibilidade de mão de obra, interrupções de medidas de segurança, processo de aprendizagem
Oportunidades	Elaborar o projeto do sistema de produção conforme estratégia de montagem a partir do lote	Aumentar transparência entre fábrica e canteiro	Padronização do trabalho

Na interface com as outras frentes de trabalho, o trabalho em progresso foi medido em relação à etapa de acabamentos da edificação, conforme a Figura 14. Entretanto, foi constatado que parte dos ganhos obtidos com a rapidez na etapa de estruturas acabou sendo dissipado na etapa de acabamentos.

Figura 14 – Trabalho em progresso e falta de terminalidade na etapa de acabamentos.

5. Conclusões

Neste capítulo, procurou-se enfatizar que existe a necessidade de ampliar a abordagem de industrialização na construção em relação a alguns conceitos estabelecidos há mais de 50 anos, tais como produção em massa, robotização, racionalização, modulação e padronização. Avanços na gestão, sustentabilidade e tecnologia da informação devem ser incorporados na implementação de sistemas construtivos industrializados, a fim de se obter os benefícios esperados.

Diferentemente do que ocorre em outros setores industriais, os empreendimentos de construção são realizados por uma organização temporária, em torno de um produto único e envolve normalmente uma ampla cadeia de suprimentos, o que confere ao ambiente maior complexidade e incerteza quando comparado ao ambiente da manufatura. Nesse sentido, existe a necessidade de entender as principais categorias de perdas que ocorrem nesse ambiente específico e propor melhorias visando à sua eliminação. O presente trabalho apresentou brevemente três estudos

nos quais a análise das perdas por trabalho em progresso, falta de terminalidade e *making-do* trouxeram uma perspectiva diferente sobre os problemas existentes, que não eram percebidos facilmente pelos gestores envolvidos.

Referências

ALVES, T.C.L. **Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras proposta baseada em estudos de caso.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

ASHFORD, J.L. **The Management of Quality in Construction.** London: E & F Spon, 1992.

BASHFORD, H.H. et al. Implications of Even Flow Production Methodology for U.S. Housing Industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 129, n. June, p. 330-337, 2003.

BOSSINK, B.A.G.; BROUWERS, H.J.H. **Construction waste:** Quantification and source evaluation. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 122, n. 1, p. 55-60, 1996.

BULHÕES, I.R. **Diretrizes para implementação de fluxo contínuo na construção civil : uma abordagem baseada na Mentalidade Enxuta.** Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

BURATI, J.L.J.; FARRINGTON, J.J.; LEDBETTER, W.B. **Causes of Quality Deviations in Design and Construction.** **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 118, n. 1, p. 34-49, 1992.

FIREMAN, M.T. **Proposta de método de controle integrado produção e qualidade, com ênfase na medição de perdas por making-do e retrabalho.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [s.l.], 2012.

FORMOSO, C.T. et al. An exploratory study on the measurement and analysis of making – do in construction sites. 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...** Lima: 2011

FORMOSO, C.T. et al. **A conceptual framework for the prescriptive causal analysis of construction waste.** 23th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...** Perth: 2015

HÖÖK, M.; STEHN, L. **Applicability of lean principles and practices in industrialized housing production.** **Construction Management and Economics**, v. 26, n. 10, p. 1091-1100, 2008.

HWANG, B. et al. **Measuring the Impact of Rework on Construction Cost Performance.** **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 135, n. 3, p. 187-198, 2009.

IBARRA, J.V.; FORMOSO, C.T.; LIMA, C. Model for integrated production and quality control : implementation and testing using. 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...** Boston: 2016

KOSKELA, L. **Application of the new philosophy to construction.** Stanford, CIFE, Standord University, 1992.

KOSKELA, L. **Making-do – the eighth category of waste**. 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Anais... Helsingør: 2004

KOSKELA, L.; VRIJHOEF, R. **The prevalent theory of construction is a hindrance for innovation**. 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Anais... Brighton: 2000

LEÃO, C.F. **Proposta de Modelo para Controle Integrado da Produção e da Qualidade Utilizando Tecnologia de Informação**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LOVE, P.E.D. et al. **Rework in Civil Infrastructure Projects: Determination of Cost Predictors**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 136, n. 3, p. 275-282, 2010.

MONDEN, Y. **Toyota production system: Practical approach to production management**, Industrial Engineering Management. Norcross, 1983.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

POON, C.S. et al. **Management of construction waste in public housing projects in Hong Kong**. Construction Management and Economics, v. 22, n. 7, p. 675-689, 2004.

SACKS, R. et al. **Visualization of Work Flow to Support Lean Construction**. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, v. 135, n. 12, p. 1307-1315, 2009.

SAFFARO, F. A. **Uso da prototipagem para gestão do processo de produção da construção civil**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SHINGO, S. **Sistemas de Produção com Estoque Zero: o sistema Shingo para melhorias contínuas**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SOMMER, L. **Contribuições para um método de identificação de perdas por improvisação em canteiros de obras**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

VIANA, D.D.; FORMOSO, C.T.; KALSAAS, B.T. **Waste in construction: a systematic literature review on empirical studies**. 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Anais... 2012

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean thinking**. New York: Simon and Schuster, 1996.

YU, H. et al. **Development of Lean Model for House Construction Using**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 135, n. 8, p. 782-790, 2009.