

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Fluxo

A utilização do fluxo em toda a gama de atividades humanas não se dá de forma fácil ou automática. Na verdade, normalmente a quantidade de esforço humano, tempo, espaço, ferramentas e estoques necessários para projetar e fornecer um determinado serviço ou bem pode ser muito rapidamente reduzida à metade e é possível manter um progresso estável a partir desse ponto, reduzindo novamente os *inputs* à metade em alguns anos (WOMACK ; JONES, 2004).



Figura 1.1: Redução de *inputs* através do fluxo.

Womack e Jones (2004) descrevem três etapas para colocar em prática o fluxo de valor:

- **Primeira Etapa:** Uma vez definido o valor e identificada toda a cadeia de valor, focaliza-se o objeto real e jamais se deixa que esse objeto se perca do início à conclusão.
- **Segunda Etapa:** Ignorar as fronteiras tradicionais de tarefas, profissionais, funções, para criar um ambiente enxuto, eliminando todos os obstáculos ao fluxo contínuo do processo.
- **Terceira Etapa:** Repensar as práticas e ferramentas de trabalho específicas, a fim de eliminar os retrofluxos, sucata e paralisações de todos os tipos, a fim de que o projeto, a emissão de pedidos e a fabricação do produto específico possam prosseguir continuamente.

Na verdade, essas três etapas devem ser praticadas simultaneamente.

A visão de Womack e Jones (2004) é clara quanto ao conceito de fluxo e sua continuidade dentro de um processo produtivo. No entanto, esta concepção se enquadra adequadamente na indústria automobilística.

Neste estudo o conceito de fluxo estará ligado à indústria da construção civil e as possíveis adaptações deste processo construtivo à ideia de fluxo contínuo serão discutidas de maneira que a produtividade das atividades possa ser destacada como elemento que mostrará as falhas de adaptação do processo.

1.2 O fluxo e a nova filosofia de produção para a construção

Para Koskela (1992), a construção deve ser vista como sendo composta por fluxo de processos. Esta ideia emerge de um dos cinco princípios do Pensamento Enxuto, onde se deve fazer o valor fluir sem interrupções.

É intuitivo pensar que a construção civil possa ser sintetizada em uma ideia de fluxo contínuo, embora não se tenha conseguido gerenciá-la até agora, de forma sistemática, permitindo que esse fluxo se mantenha contínuo.

A ideia de fluxo foi apresentada por Koskela no início da década de 1990. Após este momento inicial, onde as atenções se voltaram para o cenário onde este conceito pareceu ser parte integrante da solução para os problemas de desperdício na construção civil, muito se pesquisou e desenvolveu em teoria. Contudo até pela novidade, a aplicação deste conceito ainda enfrenta muita resistência.



Figura 1.2: Cinco princípios do pensamento enxuto.

Koskela (1992) sustenta que problemas de fluxo são causados por conceitos convencionais de administração, que conflitam com os princípios de fluxo do processo e, deste modo, induzem a não otimização (do fluxo) com uma expansão das atividades que não geram valor. Isto quer dizer que se faz necessária uma reestruturação do processo construtivo. Entretanto, por cultura, por desconfiança ou mesmo despreparo, o processo construtivo em si é caracterizado pelo desperdício.

Na obra convencional, constrói-se de maneira que haja sempre um grande estoque de insumos e, geralmente, a acomodação destes se faz no canteiro onde será edificado o empreendimento. Este procedimento, em princípio, caracteriza a crítica apresentada à administração convencional, pois o estoque de insumos impede que a logística do fluxo contínuo se desenvolva, restringindo a otimização do processo construtivo como um todo (KOSKELA, 1992).

Segundo Hirota e Formoso (2003), o desafio que se apresenta para pesquisadores e profissionais da construção é o de adaptar os conceitos e princípios de origem fabril da Produção Enxuta na indústria da construção, buscando desta forma, melhor desempenho em seu processo de produção. Concluem ainda com o pensamento: há necessidade de desenvolvimento da competência gerencial dos profissionais do setor para incentivar a aplicação da teoria da Produção Enxuta nos processos da construção e, conseqüentemente, buscar a melhoria do desempenho da indústria da construção.

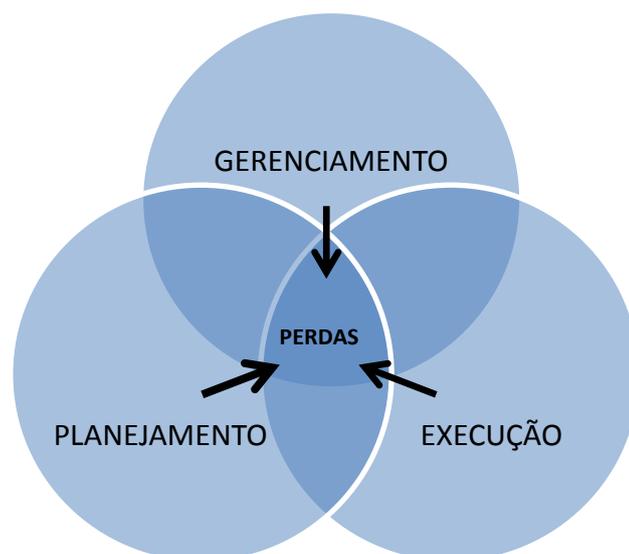


Figura 1.3: Integração do sistema: análise de perdas.

Este pensamento aparece como um primeiro passo dentro dos conceitos estabelecidos pelo pensamento *lean*, onde o desenvolvimento da competência gerencial dos profissionais do setor pode ser visto como uma mudança no pensamento da administração convencional.

Hirota e Formoso (2003) explicam da seguinte forma: Koskela deu início a estes estudos e passou a denominar essa nova abordagem como Nova Filosofia de Produção para a Construção (NFPC) e que vem a ser, enfim, uma teoria sobre o gerenciamento da construção. Ocorre que os princípios da construção enxuta, como sendo uma Nova Filosofia de Produção para a Construção, transmitem a idéia de que estes princípios estão ligados diretamente a estudos teóricos, quando o que se deseja é fazer com que sejam verificados estudos de aplicação, ou seja, sejam realizados estudos de caso que venham a comprovar esta nova filosofia.

Em um segundo momento, descrevê-la como sendo uma teoria sobre gerenciamento da construção, faz com que seja aceita e assimilada de forma mais simples, pois a associação direta às práticas de gerenciamento faz com que a aceitação por parte da indústria da construção se compare a treinamentos periódicos e cursos de especialização. Os estudos desenvolvidos, relativos à construção enxuta, são enfáticos à medida que estes afirmam a necessidade de uma mudança no processo construtivo – o que é verdade. Entretanto, a literatura ainda não apresentou exemplos de uma transição completa do processo.

Talvez a dificuldade de fazer esta transição, como sugerida por Koskela, da mudança de visão de conversão para visão de gestão de fluxo, esteja no processo em si - a palavra fluxo pode passar uma idéia positiva na prática atual da construção, na medida em que as ênfases na produtividade e na conversão fazem com que a conduta do gerente seja o de evitar ao máximo as horas paradas (KOSKELA, 1992).

Esta maneira de proceder não significa exatamente a redução de desperdício, mas pode gerar um acúmulo de atividades de maneira desordenada, o que desalinha a idéia de fluxo contínuo.

A movimentação no canteiro e a existência de estoques de materiais são indicativos de que o processo está em desenvolvimento. Na Nova Filosofia de Produção para a Construção, entretanto, o fluxo é um conceito vinculado a um problema: a existência de atividades de interrupção de fluxo (inspeção, espera, transporte) que devem ser eliminadas ou reduzidas ao máximo, porque não agregam valor ao produto (HIROTA; FORMOSO, 2003).

Desta maneira, subentende-se que não há consenso no processo construtivo, à medida que não há uma visão única do problema. Existem duas vertentes ligadas pelo gerenciamento da construção, o modelo convencional estruturado de acordo com a visão de conversão (*input* e *output*) e o modelo de fluxo contínuo. Encontradas as dificuldades iniciais, pertinentes a todas as mudanças ocorridas na visão de qualquer processo, percebe-se que a indústria da construção civil traçou vagarosamente uma nova trajetória de modo que o foco inicial de eliminação de desperdício foi sobrepujado pela redução de custos.

1.3 A transição do processo construtivo

1.3.1 Redução de desperdício

Como explicam Howell e Ballard (1994), o ponto chave da transição do modelo construtivo para o *lean* é a redução de desperdício, focada diretamente na redução de custos.



Figura 1.4: Redução de desperdício (*muda*).

Como toda nova idéia precisa de um atrativo considerável para ser aceita, a ênfase na redução de custos realça o impacto econômico sobre o processo construtivo, enquanto a redução de desperdício parece atender apenas a questões administrativas e ambientais – o que não é verdade.

Infelizmente, as bases do pensamento de conversão não são claramente explicadas devido a sua natureza. Estas deverão ser obtidas a partir de ferramentas, técnicas, contratos e formas organizacionais em uso. Talvez a maior ênfase no Método do Caminho Crítico (*Critical Path Method* - CPM) no início e no final do planejamento exemplifique melhor a conversão da teoria na prática (HOWELL; BALLARD, 1994).

1.3.2 Que tipo de produção é a construção?

Transformar esta concepção em prática tem sido um processo lento, em virtude das perdas decorrentes da experimentação. O principal atributo pregado pela reestruturação do processo construtivo é a redução de custos, não cabendo aplicar os princípios enxutos sem se ter a certeza de que estes cumprirão a meta pretendida e causando o efeito oposto.

Entretanto, em virtude da intensa competição entre as empresas da indústria da construção civil, algumas delas se sentiram compelidas a arriscar, adotando algumas ferramentas enxutas, contudo não configurando uma transição completa do processo.

Para que esta transição avance é necessário situar a indústria da construção civil dentro do cenário das práticas de produção, uma vez que as diretrizes do pensamento enxuto têm origem na produção seriada. Para tanto Howell e Ballard (1998) fazem a seguinte indagação: “Que tipo de produção é a construção?”.

A construção é, essencialmente, a concepção e montagem de estruturas *in loco*, e conseqüentemente possui certas características de um *site* de produção, produto único e equipes temporárias (BALLARD; HOWELL, 1998b). Ou seja, comparada às práticas de produção, pode-se dizer que a Indústria da construção civil é uma indústria móvel, onde o chão-de-fábrica permanece fixo à medida que o empreendimento é concebido (durante a obra) porém, após o término da construção, este chão-de-fábrica se desloca para o próximo empreendimento (figura 1.5).

A peculiaridade da atividade contínua, embora em site de produção móvel, não pode ser descrita como desperdício, mas no momento em que esta combinação

impede o fluxo das atividades, se torna obstáculo à aplicação dos conceitos da construção enxuta.

Porque que a difusão da produção enxuta tem sido tão lenta na construção? A prática da produção enxuta tem sido desenvolvida na produção automobilística e, como tal só pode ser parcialmente aplicada ao setor da construção civil (KOSKELA 2000).

Koskela (2000) explica de forma sucinta o motivo pelo qual existem tantos obstáculos à aplicação da construção enxuta que não podem ser ignorados, pois se tratam de diferentes setores, cada qual com a sua singularidade.

Em sua visão a construção é caracterizada por suas peculiaridades como produção local e organização de projetos temporários. A aplicação da produção enxuta deverá ter início a partir de princípios, nos quais métodos adequados aplicados às peculiaridades da construção têm que ser desenvolvidos. No entanto, na falta expressa destes princípios, esta tem avançado lentamente (KOSKELA, 2000).

Uma das maneiras de se aplicar “princípios” à construção enxuta é mapear as atividades do processo construtivo como sendo fluxo de trabalho, onde a visão deste tipo de seqüenciamento facilita a elaboração de uma cadeia de valor da construção (CVC).



Figura 1.5: Características: Indústria da construção x indústria automobilística.

1.3.3 Mapeamento do fluxo de valor na construção civil

A identificação da cadeia de valor da construção é aliada da redução de desperdício, com o objetivo de maior competitividade empresarial na construção. Reunir os conceitos enxutos ao redor desta competitividade tem sido a maneira encontrada pelos pesquisadores de envolver construtores no processo enxuto, de modo que a aplicação das práticas enxutas possa ser adotada em maior volume na construção.

A determinação da cadeia de valor da construção é representada pelo mapeamento do fluxo de valor na construção civil, onde é possível identificar todas as atividades e o modo como se comportam no processo construtivo.

O mapeamento do fluxo de valor revela os fluxos de trabalho, material e informação lado a lado. Ele revela desperdício de tempo para executar o ciclo (tempo) para cada operação e o tempo total do processo. O desperdício de recursos tais como materiais, equipamentos e espaços são mais fáceis de reconhecer do que desperdício de tempo, que está oculto entre ações e movimentos desnecessários (DUGGAN,2002).

Aos poucos os princípios enxutos são observados quando se compara o modelo atual de gerenciamento da construção com a proposta de construção enxuta. A proposta enxuta não enfoca somente o desperdício tátil, visual, onde se pode constatar quantitativamente o desperdício de insumos, mas analisa a questão do desperdício do tempo, o qual, em um primeiro momento não se consegue medir de forma global.

Possíveis razões para a adoção lenta do mapeamento do fluxo de valor na construção podem ser relatadas como as dificuldades em definir listas e prognósticos de produção, bem como as dificuldades em determinar as aplicações para conceitos/elementos-chave, usados no mapeamento de fluxo de valor. A dificuldade em representar alguns processos de construção e seus *outputs* revela a complexidade da indústria e a necessidade de uma linguagem que pode ser entendida pelos construtores (ALVES et al., 2005).

O mapeamento do fluxo de valor avança como ferramenta enxuta à medida que é entendido também como uma ferramenta de gerenciamento da construção, onde o mapeamento do tempo necessário para se completar uma atividade é

monitorado e quantificado ou seja, o tempo de ciclo é medido, não apenas como uma unidade de tempo, mas como unidade de valor. Duggan (2002) procura sintetizar esta idéia, onde o tempo total do processo é comparado ao tempo de ciclo total para distribuir um produto. O resultado mostra que é desperdiçado mais tempo para distribuir o produto que o tempo usado para fabricá-lo.

Identificar a cadeia de valor da construção e o mapeamento do fluxo de valor na construção civil depende primeiramente da identificação das atividades e análise de valor que estas agregam ao processo. De acordo com Oliveira (2007) a análise do valor dos processos é parte integrante de qualquer metodologia para a análise dos processos empresariais, porque tem como principais objetivos a identificação das atividades com valor agregado (VA) e as atividades sem valor agregado (NVA), com a depuração dos processos internos da empresa e, conseqüentemente, a melhoria do desempenho desses processos. As atividades de análise do valor do processo (PVA) são uma abordagem sistemática que visa ao entendimento dos processos de manufatura e à melhoria destes.

1.3.4 Análise do valor do processo (PVA – Process Value Analysis)

Beischel (1990) propõe sete procedimentos para a análise do valor do processo (PVA) dos quais os quatro procedimentos focados nos processos operacionais são comentados por Oliveira (2007):

- **Procedimento 1 : Elaboração de diagramas de fluxo**

O objetivo desses diagramas é proporcionar uma imagem visual de como o produto/serviço, ou a matéria-prima se movimenta pelo local, onde os trabalhos são realizados. Nessa oportunidade, também devem ser registrados o tempo médio em que cada parte do produto/serviço ou matéria-prima permanece em cada etapa do processo, que servirá de base para a obtenção das durações (tempos de operação) do ciclo das atividades que compõem o processo produtivo.

- **Procedimento 2 : Definição das atividades que são VA ou NVA**

Sob a ótica do conceito de valor agregado, atividades com valor agregado (VA – *Value Added*) são aquelas em que os clientes estão dispostos a pagar por elas, e as atividades sem valor agregado (NVA – *Non Value Added*) são aquelas que, se eliminadas dos processos, não prejudicam o funcionamento da organização e aquelas que não são percebidas pelos clientes/consumidores. Acontece que, sob essa ótica, a engenharia pode estar empenhada somente na redução de custos da mão-de-obra direta, na automação e no aumento da velocidade das atividades de conversão, que são melhorias que almejam as atividades que nitidamente são classificadas como atividades com valor agregado (VA). Por outro lado, as atividades indiretas, como de apoio, melhoria da qualidade e outras, que não são claramente percebidas pelos clientes, mas que contribuem com o funcionamento da organização e portanto, não podem ser eliminadas, são ignoradas pelos programas de melhoria ou pela atenção dos gerentes e podem estar sendo executadas de forma ineficaz. Assim, o conceito de valor agregado pode ser substituído ou entendido, segundo Kaplan e Cooper (1998) apud Oliveira (2007), por um conceito muito mais robusto: (...) *as oportunidades de redução de custo e melhoria do processo*. Desta forma admite-se que, mesmo depois que todas as atividades sem valor agregado (NVA) fossem eliminadas dos processos, as oportunidades de redução de custos ainda continuariam com a melhoria do desempenho das atividades com valor agregado (VA).

Além da classificação das atividades sob a ótica exclusiva dos clientes externos, Kaplan e Cooper (1998) apud Oliveira (2007), sugerem a classificação das atividades em quatro outras categorias, em relação ao valor agregado:

- i. Uma atividade necessária à fabricação do produto ou melhoria do processo* – a atividade não pode ser melhorada, simplificada ou ter seu escopo reduzido nessa etapa. (VA+);
- ii. Uma atividade necessária à fabricação do produto ou melhoria do processo* - a atividade pode ser melhorada, simplificada ou ter seu escopo reduzido. (VA-);

iii. Uma atividade desnecessária à fabricação do produto ou melhoria do processo – a atividade pode acabar sendo eliminada por meio da modificação do processo ou procedimentos da empresa. (NVA-); e

iv. Uma atividade desnecessária à fabricação do produto ou melhoria do processo – a atividade pode ser eliminada a curto prazo, por meio de modificação do processo ou procedimentos da empresa. (NVA+).

- **Procedimento 3 : Identificar as causas raiz**

O principal objetivo deste procedimento é identificar a causa fundamental da existência de cada atividade, ou seja, o motivo da realização de cada atividade no processo da empresa.

- **Procedimento 7 : Identificação das alternativas e desenvolvimento de planos de ação.**

O último procedimento proposto por esta análise refere-se à identificação das alternativas e à sugestão de planos de ação que visem à melhoria e a redução dos custos dos processos, sem reduzir a satisfação dos clientes.

Há ainda três procedimentos, os de número 4,5 e 6, que não foram mencionados no texto pois são relativos à aplicação de custos. Sejam eles:

- **Procedimento 4 : Aplicação dos custos dos departamentos às atividades do processo de fabricação.**
- **Procedimento 5 : Aplicação dos custos aos produtos.**
- **Procedimento 6 : Resumir os processos e custos da fabricação para a administração.**

1.4 Otimização

As perdas materiais estão estritamente ligadas à qualidade dos materiais, a técnica de utilização e manuseio do mesmo. As perdas de tempo estão ligadas à

produtividade da mão-de-obra, equipamentos empregados e a otimização dos mesmos (OLIVEIRA,2007). Interpretar unidades de tempo como unidades de valor através do mapeamento do fluxo de valor é um modo de quantificar o desperdício e, portanto, um caminho para reduzi-lo ou eliminá-lo. Em um estudo de caso para aplicação dos conceitos enxutos na fabricação de concreto pré-moldado, Ballard et al.(2003) descreve parte do sucesso do estudo: “a chave da mudança estava em aprender a identificar e utilizar o fluxo de trabalho como oposto de administrar focando o esforço em manter trabalhadores e canteiro ocupados”.

Reduzir o tempo do processo para reestruturar a ordem da produção pode conceder mais tempo para exploração, teste de projeto e alternativas de engenharia, redução da duração do projeto ou alguma combinação de ambos (BALLARD et al., 2003). Os autores focam a primeira idéia não só como a redução de custos, mas abordam também tópicos como exploração ou teste do projeto. Desta maneira é possível entender que, além desta preocupação em reduzir desperdício, existe a preocupação em se melhorar o projeto, otimizando-o.

A otimização do projeto além de ser uma maneira de se reduzir custos, favorece as práticas de gerenciamento à medida que contempla uma visão mais detalhada do processo. Ao otimizar o projeto trata-se diretamente com a variável tempo e esta variável está contemplada de várias maneiras na idéia da construção enxuta.

1.4.1 Identificação das atividades na construção enxuta

Além da idéia de tempo de ciclo e tempo total do processo, Koskela enfatiza outras diretrizes características da construção enxuta, onde observa a construção como não sendo única e sugere ações que podem levar à redução de sua singularidade, padronização dos componentes, utilização de modularização e pré-fabricação, uso de equipes permanentes, etc. (KOSKELA, 1998).

Para Azevedo et al.(2007) alguns projetos de construção possuem características enxutas determinadas, em princípio, na identificação das suas atividades. Após identificar todas as atividades, são estabelecidos os módulos de

repetição: isto quer dizer que serão verificados todos os trechos de execução da obra onde as atividades se repetirão igualmente.

Em seguida são determinados os módulos de tempo nos quais as atividades inseridas nos módulos de repetição devem ser executadas. Cada atividade é estudada de forma a calcular o tempo real necessário para sua execução, isso criará frentes de trabalho específicas e cada frente de trabalho possuirá uma equipe associada a ela.

Esta idéia, módulo x tempo x equipe é a concepção que possibilitará a organização de um fluxograma das atividades na obra, onde o balanceamento entre estas atividades é essencial para que a seqüência estabelecida pelo procedimento *lean* possa medir e reduzir ao máximo as ocorrências de retrabalhos e esperas (AZEVEDO et al., 2007).

Azevedo et al.(2007) propõe que as atividades na construção de determinado tipo de empreendimento sejam “modularizadas”, pois desta forma pode ser medido o tempo de ciclo de cada atividade, determinando para cada módulo uma equipe que executará a frente de serviço. Este procedimento visa diminuir o grau de incerteza inerente à construção civil.

Azevedo sugere que a construção modular, como no caso de construção em estruturas metálicas e elementos de concreto pré-fabricado, cria um ambiente mais favorável a aplicação dos conceitos enxutos de construção, onde as variações e oscilações do projeto serão determinadas inicialmente pelo tempo de execução das atividades.

Ballard e Howell (1998) chamam de "construção" um espectro que abrange uma variação de execução lenta, segura, e com projetos simples de execução rápida, até uma variação de execução incerta e de projetos complexos.

Para o primeiro caso, uma aplicação de estratégia de produção seria apropriada, ou seja, construir num enfoque de fabricação, através de iniciativas de padronização, diminuindo a variação de execução do empreendimento. Para combater a variação de execução do projeto complexo (segundo caso) no entanto, uma estratégia de produção é insuficiente. Deve-se aprender a gerir incerteza, complexidade e rapidez, interiormente às condições características de um *site* de produção na construção, condições de produção local, produto único, e organização temporária (BALLARD; HOWELL, 1998).

Ballard e Howell (1998) não generalizam a utilização de ferramentas *lean*, mas enfocam que é necessário aprender a gerir incerteza e ter domínio sobre o planejamento do empreendimento.

Nazareno et al.(2003) definem para análise de custos de um empreendimento cinco fases: (1) definir as atividades; (2) analisar o valor do processo; (3) determinar os tempos de ciclo; (4) estimar o custo para cada atividade; e (5) analisar o modelo elaborado juntamente com o mapa do fluxo de valor.

As atividades definidas de forma demasiado estrita ou com excesso de detalhes podem dificultar a análise global, sem acrescentar informações úteis. Por outro lado, as atividades definidas de forma ampla demais deixam de revelar oportunidades para melhoramentos. Com isso, uma abordagem para identificar o nível adequado de definição de atividades permite especificar as atividades no nível de detalhe que seja mais útil para a realização de uma análise de valor do processo (NAZARENO et al., 2003).

Azevedo et al. (2007) e Nazareno et al.(2003) concordam que o modo mais simples de se determinar inicialmente a aplicabilidade dos princípios enxutos a um determinado empreendimento é discriminando as atividades: pois uma vez identificadas, analisa-se a que ponto os princípios da construção enxuta irão afetar o empreendimento de forma a reduzir ou eliminar o desperdício.

Uma vez selecionado um processo para análise e identificadas suas atividades, o próximo passo é colher dados sobre o tempo de ciclo. O tempo de ciclo do processo é o tempo necessário à conclusão de todo o processo. A sua análise é normalmente realizada por meio do acompanhamento do trabalho das atividades exigidas no processo (NAZARENO et al., 2003).

Para Azevedo et al.(2007), assim como Nazareno et al.(2003), as idéias de Koskela são desdobradas ou complementadas, à medida que em sua visão a padronização dos componentes, utilização de modularização e pre-fabricação são elementos fundamentais para uma primeira análise da construção enxuta.

De acordo com Oliveira (2007), se houver alguma fidelidade na relação interna (mão-de-obra própria) e externa (mão-de-obra contratada – empreiteiros), assim como a diminuição da variabilidade com as medidas de padronização e controle, deverá ocorrer a redução do tempo dos ciclos. A variabilidade pode ser reduzida à medida que, mesmo se tratando de projetos únicos, houver a padronização de procedimentos tanto de execução como de controle. A padronização requer

treinamento de mão-de-obra da frente de trabalho bem como do *staff* de gerenciamento e controle.

1.5 Variabilidade na construção

Embora algumas premissas sobre a aplicação do pensamento enxuto na construção tenham sido estabelecidas, percebe-se a dificuldade na aplicação destes conceitos.

Picchi (2003) sintetiza explicando que, enquanto na manufatura já são observados casos de empresas adotando o *lean thinking* como modelo de produção, ou até mesmo de negócio, não se observam ainda na construção aplicações mais amplas e integradas. O *lean thinking* é uma complexa combinação de filosofia, sistema e ferramentas, e a má compreensão desta combinação, focando exclusivamente em ferramentas isoladas, é uma das razões mais freqüentes de implementações parciais e com resultados limitados.

Além disso, vale ressaltar que a simples aplicação de técnicas enxutas em partes isoladas da empresa tem gerado resultados distorcidos, embora o mundo da manufatura já tenha diversas experiências com a produção enxuta. Daí advém a importância de se considerar alguns dos princípios do pensamento enxuto antes de partir para a aplicação de técnicas isoladas, adequando-se à situação particular de cada empresa e superando as dificuldades de implementação das mesmas (NAZARENO et al., 2003).

Porque é que devemos pensar apenas nestes princípios que devem ser adotados? Em princípio, várias justificativas podem ser usadas. No entanto, se a pergunta é sobre uma idéia ou prática existente, uma maneira natural de procurar uma justificativa para a simulação é partir de onde o avanço da idéia ou prática aconteceu (KOSKELA, 2004b).

Koskela tem uma visão global do problema por entender que a construção enxuta necessita ser aplicada na prática para que sejam identificados eventuais erros de concepção, ou um engano enquanto elaboração das técnicas de aplicação. Outra preocupação do autor refere-se à variabilidade no processo construtivo.

A variabilidade deve ser medida e a sua redução é um dos focos do processo de melhoria contínua (KOSKELA, 1992). De acordo com Alves (2000) apud Howell e Ballard (1996), visando à redução de variabilidade, os gerentes devem antecipar-se ao que será executado e acompanhar como está o andamento do fluxo de materiais, desenhos, especificações, equipamentos e mão-de-obra, como uma forma de garantir a disponibilidade desses recursos para a realização das tarefas planejadas no decorrer do tempo. Além disso, no processo de tomada de decisão, esses autores afirmam que os problemas devem ser avaliados confrontando-se a capacidade de produção das equipes com os objetivos e prazos a serem alcançados, para que as decisões possam ser tomadas com base em estimativas da capacidade produtiva e fluxos de recursos; e, por fim, o planejamento deve estabelecer diretrizes que garantam a execução das atividades.

1.5.1 Simulação das atividades na construção enxuta

Uma das maneiras de se verificar a colocação de Howell e Ballard é a simulação da execução das atividades através de planilhas eletrônicas, onde antecede-se as situações ocorridas no empreendimento a fim de estudar o processo de execução das atividades.

Estudar a execução das atividades requer analisar o processo construtivo como inserido em uma cadeia de suprimentos, onde o fluxo de valor poderá ser mapeado e as possíveis interrupções ao fluxo contínuo podem ser inseridas no modelo de fluxo ideal. Pode-se estabelecer a meta ideal de fluxo e simular, a partir dos dados disponíveis de desperdício, a interrupção.

A interpretação dos dados contudo, dependerá de que modo está sendo analisado o problema pois, mais que simular o desperdício, visa-se a aferição de dados que permitam gerenciar os problemas de desperdício.

Enquanto as ferramentas de simulação e suas representações gráficas do processo são efetivas na modelagem das interações dinâmicas na cadeia de suprimentos, elas não são amplamente compreendidas pelos construtores. As operações de pesquisa de símbolos são fáceis de interpretar, mas não mostram a transparência como processo e suas informações associadas de fluxo direto ao

sistema de produção ou cadeia de suprimentos (ALVES et al., 2005). Geralmente, estes estudos utilizaram a simulação como uma ferramenta para avaliar o impacto de se implementar certos princípios a processos relativamente complexos.

Pode-se argumentar que, a aplicação de princípios enxutos para processos simples não é tão efetivo quanto nos processos complexos. Tendo dito que o objetivo primário deste estudo é buscar uma resposta para a seguinte pergunta: as características do processo influenciam na aplicação da construção enxuta? (AL-SUDAIRI, 2007).

Al-Sudairi discute que, no cenário atual, a aplicação dos conceitos de construção enxuta é demasiado complexa e investiga se realmente as características da construção favorecem a aplicabilidade dos conceitos enxutos de produção.

1.5.2 Modelos de simulação

Para permitir a compreensão da aplicação de concepção enxuta na construção, foram criados modelos de simulação. Os modelos de simulação se tornaram uma ferramenta de experimentação onde os princípios enxutos foram introduzidos para avaliar o impactos destes em processos mais simples (AL-SUDAIRI, 2007).

Em atividades pouco complexas fica mais fácil estudar os efeitos da aplicação da construção enxuta, de modo que os modelos são dispostos de maneira a que o tempo de ciclo seja medido com maior facilidade. Al-Sudairi (2007) descreve a tentativa de simular o processo a partir de um estudo de caso:

Construir o modelo inicial de simulação como é, requereu dados de duração e mapa do processo. É considerado inicial porque ainda não é verificado e validado. A verificação do modelo requer que o modelo não contenha erros lógicos e opere como esperado. Por outro lado, os meios de validação do modelo refletem o modelo do sistema atual. O modelo inicial passou por várias repetições. Foram introduzidos princípios enxutos no modelo, conduzindo a um modelo novo que foi chamado de modelo enxuto. Resultados de ambos foram comparados mutuamente com modelos enxutos para avaliar a potencialidade de princípios enxutos (AL-SUDAIRI, 2003).

Os modelos de Al-Sudairi (2007) foram criados baseados no tempo de ciclo das atividades e este parâmetro serviu de base para comparação dos resultados

obtidos entre o modelo inicial e o modelo enxuto. O propósito do mapeamento do processo é o de: identificar atividades, decisões, filas e recursos requeridos; clarear a seqüência do processo e lógica; e buscar oportunidades para melhorias (DAMELIO, 1996, HINES; RICH, 1997 apud AL-SUDAIRI, 2007).

Assim como Azevedo et al. (2007), Nazareno et al. (2003), Al-Sudairi (2007) mapeia a Cadeia Construtiva através da determinação das atividades e seus tempos de ciclo, identificando o comportamento do processo. Faz ainda um comparativo entre um modelo inicial e um modelo enxuto, onde a partir destes traça uma estratégia que interpretará os resultados obtidos.

Ambos os modelos de simulação permitem a avaliação dos princípios enxutos e medem o impacto deles nos processos estudados. Isto é realizado comparando tempo de ciclo e eficiência de ambos os modelos, o modelo inicial e o modelo enxuto (AL-SUDAIRI, 2007).

Back e Bell (1994) apud Al-Sudairi (2007) discutem as premissas da elaboração dos modelos:

- O que deve ser terminado antes que a atividade possa começar?
- Esta atividade pode acontecer simultaneamente com qualquer outra?
- Que recursos são exigidos para executar esta atividade?
- Quais são as distribuições destes processos?
- Como as distribuições são transmitidas internamente e externamente?
- Com que freqüência deve ser refeita certa atividade?
- Quanto tempo leva para terminar uma atividade?

Na verdade, criar um modelo enxuto de estudo significa não somente aplicar os princípios enxutos a parâmetros de construção, mas interpretar o que os resultados obtidos significam. Deles se extraem a medida do desperdício gerado durante a execução das atividades.

As premissas estabelecidas, como o momento anterior e posterior à execução das atividades determinarão o estado geral da modelagem. Os dados de entrada são submetidos ao estágio de refinamento que se quer chegar, isto quer dizer que, a leitura correta dos dados obtidos, permite uma conclusão de acordo com o ambiente a que foi submetido à modelagem e ao grau de incerteza (variabilidade) determinado na elaboração do conjunto.

1.6 Variabilidade x confiabilidade na construção

Variabilidade se assemelha ao oposto da confiabilidade. Quanto maior for a confiabilidade de um sistema, menor é a variabilidade presente no sistema.

A variabilidade está fortemente associada com aleatoriedade. Para entender as causas e efeitos da variabilidade, o mais importante é compreender a complexa relação entre aleatoriedade e probabilidade (HOPP; SPEARMAN, 2000).

A modelagem das atividades envolve diretamente os conceitos de fluxo na construção logo, modelar um sistema de atividades com a menor expectativa possível de variabilidade, significa dizer que este sistema está mais próximo da perfeição. Quanto menor a variabilidade, mais efetivo e eficiente é o sistema: o oposto também é válido.

Desta forma Hendrickson (2003) apud Oliveira (2007), propõe elaborar uma tabela de duração e precedência para as tarefas envolvidas na atividade com a estimativa de suas respectivas durações.

Arbulu e Ballard (2004) propõem um estudo onde são descritas as seguintes situações:

- **Primeiro Cenário - suprimentos e demanda são 100% confiáveis:** cenário utópico;
- **Segundo Cenário- suprimento confiável e demanda variável:** o segundo cenário assume que os suprimentos são 100% confiáveis. Uma consequência deste cenário poderá ser o acúmulo de materiais no local de trabalho.
- **Terceiro Cenário – suprimento e demanda variáveis:** o cenário três é o mais próximo da realidade em construção, contudo, ele é muitas vezes simplificado e pode não levar em conta, por exemplo, diferentes fontes de variabilidade da demanda e como a complexidade da cadeia de suprimentos vai impactar no custo, prazo, qualidade e segurança.

Variabilidade é o atributo de não-uniformidade de uma classe de entidades (HOPP; SPEARMAN, 2001, apud KRAEMER, 2005).

Ocorre variabilidade em todos os sistemas de produção e esta tem um grande impacto no desempenho. É importante compreender e gerir variabilidade. Na

produção, existem dois tipos de variabilidade: fluxo de processo e tempo. O tempo de processo refere-se à variabilidade do tempo de trabalho de uma estação de trabalho em que pequenas flutuações no tempo, devido às diferenças de operadores, equipamentos e materiais são causas naturais. Há ainda ciclos randômicos, cortes na produção, ajustes e disponibilidade dos trabalhadores (HOPP; SPEARMAN, 2001, apud KRAEMER, 2005).

1.7 Fluxo de Variabilidade em construção

O fluxo de variabilidade na construção refere-se à variabilidade causada pelo processo contínuo e é alimentado por diversas atividades em diferentes fatores de produção (unidade especializada de trabalhadores) e em locais diferentes (pisos). Como resultado da variabilidade a produção será penalizada com: aumento do tempo de execução e excesso de trabalho em andamento, desperdício de capacidade ou rendimento perdido (KRAEMER, 2005).

O gerenciamento do fluxo de variabilidade é administrado por meio das simulações de execução de determinada atividade através do modelo pré-estabelecido. Os dados são coletados e inseridos na modelagem, desta maneira podem se observar as variações do fluxo de acordo com o grau de incerteza que se quer gerar. Ou seja, independente dos dados serem factíveis, pode-se variar o fluxo de modo a que o resultado obtido seja considerado como semelhante a um acontecimento eventual.



Figura 1.6: Eliminação de desperdício: dependente direto da relação entre confiabilidade x variabilidade.

1.8 Desperdício e ações mitigadoras

A tarefa de se eliminar o desperdício exige cautela. É necessário o mapeamento do fluxo de valor da construção de modo a que o resultado final obtido não seja pontual, ou tão disperso que não se observe de fato a redução de desperdício.

Na visão de Rother e Shook (1999), programas de *Kaisen* podem redundar em resultados desapontadores tornando-se outro programa abandonado, logo a ser seguido por uma ofensiva do tipo “eliminação de gargalos” (baseado na teoria das restrições) ou uma iniciativa “Seis Sigma” (focalizado nos problemas de qualidade mais visíveis de uma empresa). Para os autores, isto produz o mesmo resultado: vitórias isoladas contra o desperdício, algumas delas bastante impressionantes, mas fracasso na melhoria do todo.

O fluxo de variabilidade na construção pode ser medido quando se entende que ações isoladas contribuem com o desperdício. O pensamento enxuto identifica sete tipos de desperdício: espera, superprodução, transporte, processamento, estoque, movimentação, correção.

O tipo de desperdício identificado como espera foi proposto como causa raiz deste estudo, o que permite uma melhor avaliação do problema e a solução adequada para combatê-lo.

O processo de identificar atividades desperdício não é uma tarefa fácil. O grande número de parâmetros e processos diferentes pode causar desperdício direto em determinadas atividades escondido em outras atividades (RAWABDEH, 2005).

Rawabdeh (2005) considera ainda que ao fazer intervenções para eliminar um tipo de desperdício, pode se resultar em outro desperdício diferente, afetando a atividade negativamente.

Para Tommelein (1997) os processos construtivos são notoriamente difíceis de planejar e controlar porque estão “infestados” por numerosas incertezas. As atividades, porém, podem ser modeladas de maneira que fiquem explícitos os recursos a serem utilizados para eliminá-las.

Uma atividade requer recursos de *inputs*, onde no início da atividade empenha-se no tipo de recurso utilizado durante a execução da atividade e *outputs*,

onde estes mesmos ou outros recursos são utilizados no final da execução da atividade (TOMMELEIN, 1997).

Tommelein (1997) divide as incertezas em seis classes: escopo do trabalho, duração e tempo de ciclo, quantidade, qualidade, recursos da tarefa, fluxo do caminho e seqüenciamento.

Para a maioria dos autores existe o consenso quanto à necessidade de se eliminar o desperdício. Neste estudo foca-se a variável tempo como objeto a ser trabalhado de modo que o desperdício seja focado nesta causa raiz, entretanto, a redução de desperdício é permeada pela desastrosa aplicação isolada das ferramentas enxutas na redução de desperdício.

Em algumas instancias houve evidencias de aplicações discretas do pensamento enxuto na cadeia de suprimentos que causaram dificuldades que atrasaram a entrega do projeto. Em outras áreas, práticas que aparentavam ser vantajosas com o pensamento enxuto inibiram o andamento dos projetos, diferente do que deveria ter sido (FEARNE; FOWLER, 2006).

Alguns estudos de caso têm delineado que o pensamento enxuto aplicado isoladamente no processo construtivo torna-se danoso, pois trava o processo, amarrando restrições à execução das atividades, causando esperas ou superprodução, ou seja, desperdício.

Desta maneira, se faz necessário estabelecer critérios quanto à utilização das ferramentas enxutas, seja na fase de planejamento, seja durante o gerenciamento do empreendimento, de modo que a adoção destas ferramentas não venha a prejudicar o desenvolvimento do empreendimento.

Este estudo se baseia em alguns conceitos da construção enxuta. Abaixo segue quadro cronológico dos principais argumentos utilizados para a concepção das idéias expostas (Anexo B).

| ANO | AUTOR | TÍTULO | FOCO DO ESTUDO |
|------|------------------|---|--|
| 1992 | KOSKELA | APPLICATION OF THE NEW PRODUCTION PHILOSOPHY TO CONSTRUCTION. | APRESENTAÇÃO DOS PRINCIPAIS ARGUMENTOS QUE VISAM ESTABELECEER A ASSOCIAÇÃO DE UM PADRÃO DE ATIVIDADES EXISTENTES NO PROCESSO CONSTRUTIVO. ESTUDO SEMINAL DO TEMA |
| | | <i>APLICAÇÃO DA NOVA FILOSOFIA DE PRODUÇÃO À CONSTRUÇÃO.</i> | |
| 1994 | HOWELL / BALLARD | LEAN PRODUCTION THEORY: MOVING BEYOND CAN-DO. | DESENVOLVIMENTO DA TEORIA DA CONSTRUÇÃO ENXUTA. EVOLUÇÃO DO TEMA |

| | | | |
|------|----------------------------|---|---|
| | | TEORIA DA PRODUÇÃO ENXUTA: MOVENDO ALÉM DO PODER FAZER. | |
| 1997 | TOMMELEIN | DISCRETE EVENT SIMULATION OF LEAN CONSTRUCTION PROCESSES. | INÍCIO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO DAS ATIVIDADES DA CADEIA CONSTRUTIVA, ANÁLISE DE CADEIAS PRODUTIVAS NA CONSTRUÇÃO. INSERÇÃO DE FERRAMENTAS DIGITAIS AO PROCESSO |
| | | SIMULAÇÃO DE EVENTO DISCRETO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO ENXUTA. | |
| 1998 | BALLARD / HOWELL | WHAT KIND OF PRODUCTION IS CONSTRUCTION? | ESTUDO DO PROCESSO CONSTRUTIVO ATRAVÉS DAS TEORIAS DE PRODUÇÃO |
| | | QUE TIPO DE PRODUÇÃO É A CONSTRUÇÃO? | |
| 1999 | KOSKELA | WE NEED A THEORY OF CONSTRUCTION. | DETERMINAÇÃO DOS CRITÉRIOS FUNDAMENTAIS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA, SEUS PRINCÍPIOS BÁSICOS E DIRETRIZES |
| | | NÓS PRECISAMOS DE UMA TEORIA DE CONSTRUÇÃO. | |
| 1999 | BEISCHEL | IMPROVING PRODUCTION WITH PROCESS VALUE ANALYSIS. | ANÁLISE DAS CADEIAS DE VALOR E MELHORIAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO |
| | | MELHORANDO A PRODUÇÃO COM ANÁLISE DE PROCESSO DE VALOR. | |
| 2000 | ALVES | DIRETRIZES PARA A GESTÃO DOS FLUXOS FÍSICOS EM CANTEIROS DE OBRAS: PROPOSTA BASEADA EM ESTUDOS DE CASO. | ESTUDO DE CASO – APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS ENXUTAS AO GERENCIAMENTO DO PROCESSO CONSTRUTIVO. ESTUDO DE CASO PARA VERIFICAÇÃO DO USO DE FERRAMENTAS ENXUTAS |
| 2002 | ROTHER / SHOOK | LEARNING TO SEE VALUE STREAM MAPPING TO CREATE VALUE AND ELIMINATE WASTE. | MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR NA CADEIA CONSTRUTIVA |
| | | APRENDENDO A ENXERGAR: MAPEANDO O FLUXO DE VALOR PARA AGREGAR VALOR E ELIMINAR O DESPÉDICO. | |
| 2002 | DUGGAN | CREATING MIXED MODEL VALUE STREAMS: PRACTICAL LEAN TECHNIQUES FOR BUILDING TO DEMAND. | UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN – ANÁLISE DE MODELO DE UM MODELO CONSTRUTIVO MISTO |
| | | CRIANDO UM MODELO MISTO DE CADEIAS DE VALOR: TÉCNICAS PRÁTICAS ENXUTAS PARA DEMANDA DA CONSTRUÇÃO. | |
| 2003 | PICCHI | OPORTUNIDADES DA APLICAÇÃO DO LEAN THINKING NA CONSTRUÇÃO. | APLICABILIDADE DE FERRAMENTAS LEAN NA CONSTRUÇÃO CIVIL |
| 2003 | BALLARD / HARPER / ZABELLE | LEARNING TO SEE WORK FLOW: AN APPLICATION OF LEAN CONCEPTS TO PRECAST CONCRETE FABRICATION. | APLICAÇÃO DE CONCEITOS LEAN PARA FABRICAÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO |
| | | APRENDENDO A ENXERGAR O FLUXO DE TRABALHO: UMA APLICAÇÃO DE CONCEITOS LEAN PARA FABRICAÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO. | |
| 2003 | NAZARENO / RENTES / SILVA | IMPLANTANDO TÉCNICAS E CONCEITOS DA PRODUÇÃO ENXUTA INTEGRADAS À DIMENSÃO DE ANÁLISE DE CUSTOS. | ANÁLISE DE CUSTOS ATRAVÉS DE CONCEITOS DA PRODUÇÃO ENXUTA |
| 2003 | HIROTA / FORMOSO | O PROCESSO DE APRENDIZAGEM NA TRANSFERÊNCIA DOS CONCEITOS E PRINCÍPIOS DA PRODUÇÃO ENXUTA PARA A CONSTRUÇÃO. | TRANSIÇÃO DA PRODUÇÃO ENXUTA PARA CONSTRUÇÃO ENXUTA |
| 2004 | WOMACK / JONES | A MENTALIDADE ENXUTA NAS EMPRESAS. | INTRODUÇÃO DA MENTALIDADE ENXUTA NAS EMPRESAS |

| | | | |
|------|--|---|--|
| 2004 | KOSKELA | MOVING-ON – BEYOND LEAN THINKING. | EVOLUÇÃO DO ESTUDO SOBRE A CONSTRUÇÃO ENXUTA |
| | | MUDANDO – ALÉM DO PENSAMENTO ENXUTO. | |
| 2004 | AL-SUDAIRI | SIMULATION AS AN AID TOOL TO THE BEST UTILIZATION OF LEAN PRINCIPLES. | USO DA SIMULAÇÃO COMO UMA FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO MELHOR APROVEITAMENTO DOS PRINCÍPIOS LEAN NA CONSTRUÇÃO. MODELAGEM COMPUTACIONAL DE ATIVIDADES LEAN NA CONSTRUÇÃO |
| | | SIMULAÇÃO COMO UMA FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO MELHOR APROVEITAMENTO DOS PRINCÍPIOS LEAN. | |
| 2004 | ARBULU / BALLARD | LEAN SUPPLY SYSTEMS IN CONSTRUCTION. | USO DE SISTEMAS DE SUPRIMENTO ENXUTOS NA CONSTRUÇÃO |
| | | SISTEMAS DE SUPRIMENTO ENXUTOS NA CONSTRUÇÃO. | |
| 2005 | ALVES / TOMMELEIN / BALLARD | VALUE STREAM MAPPING FOR MAKE-TO ORDER PRODUCTS IN A JOB SHOP ENVIROMENT. | MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR NA CONSTRUÇÃO |
| | | MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR PARA A ENCOMENDA DE PRODUTOS EM UM AMBIENTE DE TRABALHO. | |
| 2005 | RAWABDEH | A MODEL FOR THE ASSESMENT OF WASTE IN JOB SHOP ENVIROMENTS. | SIMULAÇÃO DE DESPERDÍCIO EM AMBIENTES LEAN |
| | | UM MODELO PARA AVALIAÇÃO DE DESPERDÍCIO EM AMBIENTES DE LOJA DE TRABALHO. | |
| 2006 | FEARNE / FOWLER | EFFICIENCY VERSUS EFFECTIVENESS IN CONSTRUCTION SUPPLY CHAINS: DANGER OF LEAN THINKING IN ISOLATION. | OS EFEITOS NEGATIVOS DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN |
| | | EFICIÊNCIA VERSUS EFETIVIDADE NA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CONSTRUÇÃO: O PERIGO DO PENSAMENTO ENXUTO EM ISOLADO. | |
| 2006 | KRAEMER / HENRICH / KOSKELA / KAGIOGLOU | HOW CONSTRUCTION FLOWS HAVE BEEN UNDERSTOOD IN LEAN. | ANÁLISE DO FLUXO DA CONSTRUÇÃO NA ÓTICA LEAN |
| | | COMO O FLUXO DA CONSTRUÇÃO PODE SER ENTENDIDO NO LEAN. | |
| 2007 | AL-SUDAIRI | EVALUATING THE EFFECT OF CONSTRUCTION PROCESS CHARACTERISTICS TO THE APPLICABILITY OF LEAN PRINCIPLES. | AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO PROCESSO CONSTRUTIVO NA ÓTICA LEAN |
| | | AVALIANDO OS EFEITOS DAS CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO CONSTRUTIVO PARA A APLICABILIDADE DOS PRINCÍPIOS LEAN. | |
| 2007 | AZEVEDO / ROSEMBLUM / ALVES BORGES / TAVARES | AVALIAÇÃO DA MENTALIDADE ENXUTA (LEAN THINKING) NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA VISÃO ESTRATÉGICA DE IMPLANTAÇÃO. | AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA NA CONSTRUÇÃO CIVIL. ESTRATÉGIAS DE IMPLANTAÇÃO DO MEDELO ENXUTO À CONSTRUÇÃO PREDIAL MODULAR |
| 2007 | OLIVEIRA | UMA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE CONCRETAGENS DE LAJES PREDIAIS NA ÓTICA DA CONSTRUÇÃO LEAN. | AVALIAÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO COM A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN |

Quadro 1.1: Cronologia dos principais argumentos utilizados para a concepção das idéias enxutas expostas no estudo.