

DIAGRAMAS DE INFLUÊNCIA PARA UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL – ESTUDO DE CASO PRELIMINAR NA CADEIA DE PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO

Patricia Stella Pucharelli Fontanini (1); Flávio Augusto Picchi (2)

(1) Doutoranda do Departamento de Arquitetura e Construção, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, DAC-FEC-UNICAMP/ GTE – Departamento de Arquitetura e Construção, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp

(2) Professor do Departamento de Arquitetura e Construção, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, DAC-FEC-UNICAMP/ GTE – Departamento de Arquitetura e Construção, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo de caso preliminar para a simulação conduzido em uma cadeia de suprimentos da construção civil, onde a empresa foco era um fabricante de pré-moldados. A partir da aplicação de ferramentas *Lean* e macro mapa de fluxo de valor, foram identificados desperdícios e possibilidades de eliminação de etapas que não agregam valor ao sistema, e traduzidos em um macro mapa de fluxo de valor do estado atual. Para isso foi realizado um levantamento de dados, através de entrevistas semi-estruturadas, para coleta de dados sobre o fornecimento de aço nos elos da cadeia de suprimentos envolvidos e do fluxo de informação do sistema. Após o levantamento de dados, foram realizados diagramas de influência baseado nos princípios da dinâmica complexa. O primeiro cenário foi realizado considerando a situação atual e o segundo cenário sugerido com a aplicação de uma política enxuta para a cadeia observada e gerenciamento de ressuprimento *Lean*, baseado na filosofia do *Just-in-time*. Neste sentido, o artigo aborda uma primeira análise dos dados, bem como, apresenta sugestões para uma posterior aplicação da simulação nos dois cenários propostos para as cadeias de suprimentos na construção civil.

Palavras-chave: simulação, cadeia de suprimentos, mentalidade enxuta

ABSTRACT

This paper presents a preliminary case study of simulation in a construction supply chain, taking as focus company a pre-cast elements producer. Considering lean tools application and value stream analysis, waste and non value adding activities were identified in the supply chain system and represented in a value stream macro map of current state. Data was collected from agents' operational controls and from semi-structured interview, focusing on steel supply chain. After this database preparation, it was compiled in two influence diagrams based on complex dynamics theory. The first scenario considered current state supply chain data and for the second scenario a lean implementation policy was suggest, based on replenishing according to Just-in-Time concept. The paper discuss a first supply chain data analysis, and presents suggestions for further studies simulating the two proposed scenarios for a construction supply chain.

Keywords: simulation, supply chain, lean thinking

1 INTRODUÇÃO

Para iniciar o estudo de simulação *lean* na cadeia de suprimentos da construção civil, buscou-se auxílio na teoria de sistemas complexos. A teoria de sistemas complexos analisa, basicamente, fenômenos de auto-organização e fenômenos emergenciais, que são propriedades da teoria de sistemas dinâmicos. O fenômeno emergencial é um processo que resulta das interações entre os agentes relevantes dentro de um sistema, que também é, na maioria dos casos, não intencional. Embora as ações individuais dos agentes (pelo menos em sistemas sociais) possam ser consideradas racionais, no sentido de estarem voltadas para a preservação do auto-interesse, esta teoria mostrou-se totalmente aplicável para compreender o comportamento dos agentes de uma cadeia de suprimentos, uma vez que decisões tomadas por cada um dos agentes, tendem a repercutir no funcionamento da cadeia de suprimentos como um todo. Muitos sistemas apresentam complexidade de detalhes ou combinatória, isto é, intrincadas teias de relações entre seus componentes, o que torna difícil compreender sua dinâmica o auxílio de modelos detalhados construídos com base em conhecimento específicos.

A complexidade sistêmica ocorre, basicamente, do fato de que a interação entre os vários agentes de um sistema ocorre em “*loops de feedback*” negativos ou positivos, em que as causas e efeitos encontram-se afastados por tempos de *delays* ou atrasos. Nessas condições, as ações individuais, em partes aparentemente isoladas, dos sistemas podem dar origem a reações em outras partes, em também em momentos posteriores onde as mesmas alterarão as condições sob as quais os primeiros indivíduos tomaram as decisões que deram início ao processo. O resultado é que, em sistemas dinamicamente complexos, essas decisões em geral produzirão consequências não intencionais para quem as toma dentro da cadeia analisada.

Uma das ferramentas sistêmicas mais apropriadas para este tipo de estudo é a Dinâmica de Sistemas. Trata-se de um conjunto de técnicas desenvolvido para estudar sistemas comandados por ciclos de *feedback* negativos e positivos, em que as relações de causa e efeito encontram-se em geral distanciadas no tempo e no espaço; ou seja, as técnicas de dinâmica de sistemas são especialmente apropriadas para estudar a dinâmica de sistemas complexos com muitos agentes envolvidos.

Neste artigo será apresentado a primeira etapa de preparação para a simulação da cadeia de suprimentos proposta, ou seja, a elaboração de diagramas de influência para a posterior simulação no software *IThink*. A elaboração do diagrama de influência inicial ou estado atual permite a visualização de um cenário atual da cadeia de suprimentos analisada. O segundo cenário sugerido, permite a visualização de uma diagrama, onde será aplicada uma política *lean* (WOMACK; JONES, 1992; WOMACK, JONES, 1998) e suas ferramentas. O artigo tem como objetivo apresentar os diagramas de influência e discutir a possibilidade da aplicação da teoria dos sistemas complexos para os dois cenários propostos, a partir da simulação dos dois casos no software proposto.

2 GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O estudo do gerenciamento da cadeia de suprimentos tem um papel fundamental no alcance dos objetivos comuns às suas empresas e na geração de riquezas para as mesmas. Muitos autores têm discutido o tema apresentando propostas de análise a aplicação de conceitos *lean* já implementados com sucesso em outras cadeias de suprimentos (AZAMBUJA, 2002; ISATTO, 2005; VRIJHOEF; KOSKELA, 2000).

Porém, torna-se difícil o alcance desses objetivos devido à complexidade das cadeias de suprimentos, aos interesses conflitantes de seus participantes e às interações entre os participantes da cadeia através dos fluxos de informação, dinheiro, produtos e serviços (TOMMELEIN, 1998; ALVES; TOMMELEIN, 2007). As autoras citadas desenvolveram um interessante estudo de simulação com quatro cenários, simulando-os e analisando o impacto e variações nas durações das atividades da

cadeia de suprimentos e a definição de grandes lotes têm no tempo de entrega (*lead time*) de um projeto.

No estudo de ALVES; TOMMELEIN (2007), as autoras consideraram na simulação, os atrasos no compartilhamento de informações, a incerteza e as distorções na demanda real e analisaram as flutuações que se desencadearam por todos os níveis da cadeia estudada. Ao analisar as flutuações e seus efeitos nas ordens de compra e os níveis de produção de todos os participantes da cadeia, concluíram que a cadeia necessitou de meses para que retornassem para a demanda original e níveis de produção regulares.

Os autores CZARNECKI; LOYD (2002) acreditam uma análise realizada por simulação *lean* necessite ser mais prática e menos dispendiosa, para possibilitar uma tomada de decisão efetiva e implementar melhorias. Os autores encorajam estudos que permitam esta investigação a nível teórico do funcionamento das cadeias de suprimentos como um todo.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Foi escolhido como método de pesquisa e coleta de dados: o estudo de caso exploratório (YIN, 2005). Para a elaboração do primeiro cenário do diagrama de influências foram utilizados dados levantados a partir de entrevistas semi-estruturadas e informações apresentadas no Macro Mapa de Fluxo de Valor da Cadeia de Suprimentos de Pré-Fabricados (Aço). As limitações encontradas foram: inconsistências nas informações das quantidades de aço em estoques, observadas no físico e no sistema consultado (SAP). Para esta primeira análise foram consideradas as quantidades inspecionadas no físico das duas fábricas (fabricante de estribos de aço e fabricante de peças pré-moldadas de concreto).

Na elaboração do primeiro diagrama foi proposto um modelo, baseado nas relações identificadas a partir das entrevistas realizadas. O modelo necessita ainda de revisões periódicas para identificar possíveis variações do relacionamento dos agentes envolvidos. Na sequência, da pesquisa de doutorado, este modelo será trabalhado no software *IThink* com o suporte da equipe do LALT (Grupo de Estudos Avançados de Logística e Transporte – FEC/ UNICAMP). Este software é uma ferramenta baseada em Engenharia de Sistema, e largamente utilizada para simulação logística industrial. Esta simulação prevê a implementação de cenários com Políticas *lean* a serem adotadas. Este software tem sido utilizado para a simulação de cadeia de suprimentos complexas.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Descrição dos agentes do estudo de caso

Para o desenvolvimento deste primeiro estudo exploratório foi utilizada uma cadeia de suprimentos de fabricação de pré-moldados de concreto. Esta cadeia de suprimentos é composta dos seguintes agentes: o agente fabricante de pré-moldados, projetistas estruturais, fabricante de estribos de aço, cliente e obra. Esta cadeia de suprimentos tem algumas características particulares, uma vez que, os estribos de aço são fabricados sob encomenda na fábrica de aço e entregues sob demanda, ou seja, a partir da necessidade definida em projeto do fabricante de peças pré-moldadas. Segue o MMFV da cadeia de suprimentos apresentado na Figura 01.

Após a contratação da edificação por parte do cliente, o fabricante de pré-moldados requisita dos projetistas estruturais o desenvolvimento dos projetos estruturais executivos de armação para encaminhá-los para o fornecedor de estribos. O fabricante de estribos de aço fabrica os estribos, de acordo com projeto enviado, uma vez executados, encaminha-os para a fábrica de pré-moldados, para os mesmos se tornem parte integrante do elemento estrutural.

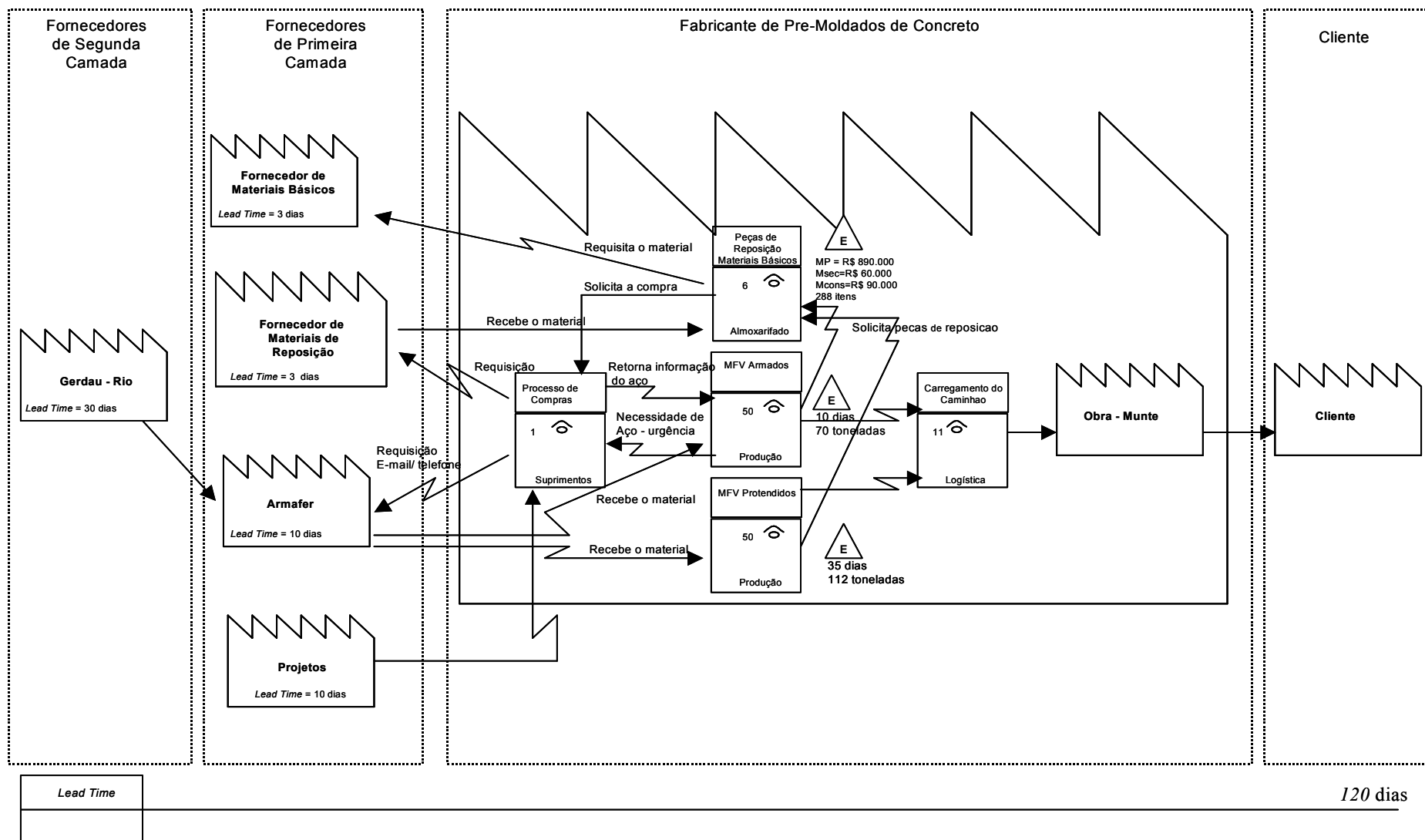


Figura 01 – Macro Mapa de Fluxo de Valor da Cadeia de Aço

Desta forma, o fabricante das peças pré-moldadas se torna dependente de dois agentes no sistema: fabricante de estribos e projetistas estruturais. O fabricante de pré-fabricados é dependente do fluxo de informações para: recebimento dos projetos estruturais e recebimento de materiais, especificamente (neste caso), estribos de aço para a realização das peças estruturais em fábrica. O agente principal analisado (fábrica de pré-moldados) controla dois estoques importantes: estoques de projetos executivos (informação) e estoques de estribos de aço (material).

4.2 Considerações do estudo de caso

Os dados utilizados para a modelagem inicial do diagrama de influência foram obtidos através de entrevistas semi-estruturadas e mapas de fluxo de valor dos processos produtivos e administrativos, levantados junto ao fabricante de pré-moldados e seus agentes. Os mapas de fluxo de valor e as entrevistas foram realizadas com os líderes e gerentes das áreas envolvidas com a participação da pesquisadora.

Os tempos e as taxas adotadas serão adaptados em função dos dados obtidos através da pesquisa realizada. O modelo inicial tenta representar, de uma forma geral, o funcionamento atual da cadeia, e demonstrar como a ausência de ritmo entre os quatro agentes envolvidos pode amplificar os problemas de excesso de estoque ao longo da cadeia de suprimentos. A visualização da amplificação das oscilações de demanda será posteriormente apresentada na continuidade da pesquisa. A Política *Lean* sugerida irá contemplar a aplicação de algumas ferramentas *lean* para a definição das relações entre agentes.

4.3 Modelagem do sistema complexo da cadeia de suprimentos de pré-moldados para estribos fornecidos dobrados

O sistema então é definido pelas várias relações entre agentes do sistema. A representação gráfica que será adotada para o modelo será a seguinte: a polaridade da seta (+) indica a existência de uma relação direta entre as variáveis e a marca com duas retas representa um delay temporal entre causa e efeito.

4.3.1 Cenário 1

No Cenário 1, atual, observa-se a demanda (primeiro agente) crescente por edificações pré-fabricadas, e a elevação o preço do aço, que por sua vez após um tempo, eleva os custos unitários de produção estribos de aço para a construção civil. O aumento dos custos de estribos força os fabricantes de peças pré-moldadas (segundo agente) a tentar a aumentar a produção de modo a manter sua renda líquida (supõe-se que o capital empregado não pode ser facilmente transferido para outras atividades). Mas para fazê-lo, é preciso aumentar o consumo concreto e mão-de-obra, o que agrava o problema de estoques, pois o fabricante de peças pré-moldadas tenderá a fazer um estoque de peças em sua fábrica ou na obra (quarto agente), adiantando-se na subida do preço do aço. Todas estas atividades são dependentes dos fluxo de informação (planejamento de produção e de projetos).

Observe-se que este ciclo não se deve, necessariamente, ao fato de que o preço do aço oscilar, mas à inconsistência entre interesses individuais e interesse coletivo. Mesmo que um fabricante de aço (terceiro agente) se conscientizasse da gravidade do problema e passasse a racionalmente programar os custos e, se os demais não tivessem a mesma atitude, o custo do produto para o cliente final (primeiro agente) aumentaria de qualquer modo. Isto indica que, nessas condições, a estratégia dominante para cada indivíduo será aumentar a produção e o custo do recurso a longo prazo, o que é evidentemente um resultado coletivo irracional de ações racionalmente planejadas.

Na Figura 02 apresenta-se o diagrama de influência para o sistema descrito acima. Na figura 04 apresenta-se a primeira modelagem proposta, com o auxílio do Software Ithink, a partir das informações obtidas do MMFV e diagrama de influência para o Cenário 1.

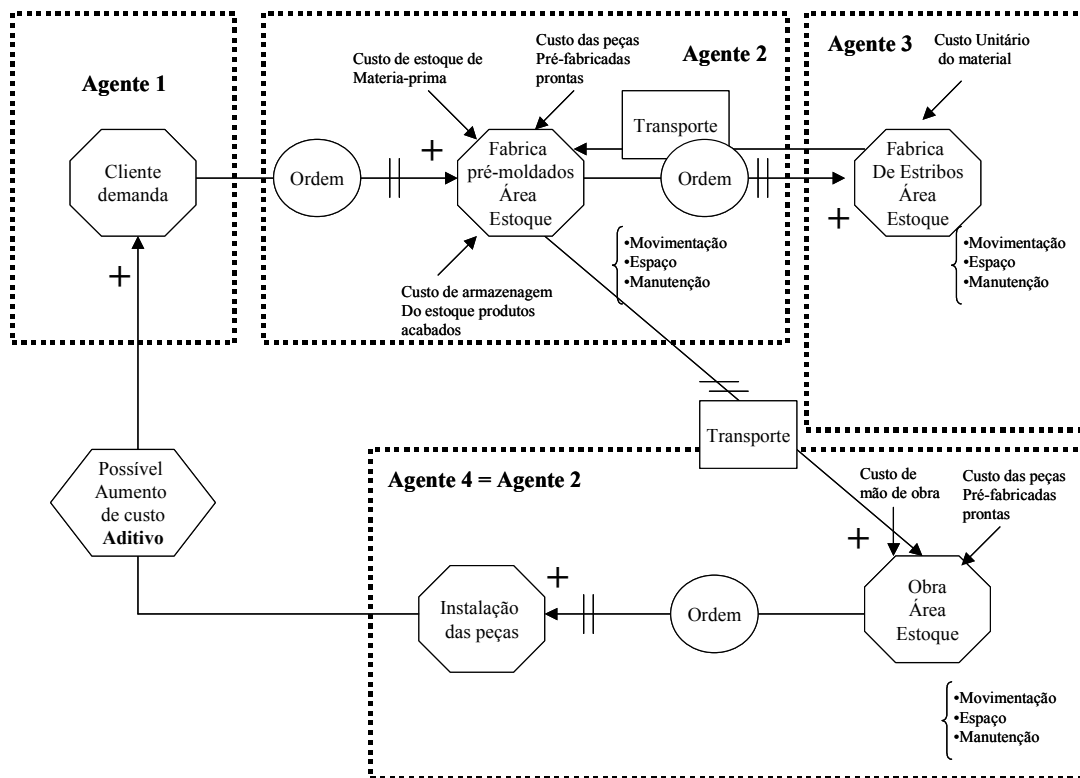


Figura 02 – Diagrama de Influência do Estado Atual da Cadeia para modelagem computacional

4.3.2 Cenário 2

No cenário 2 propõem-se uma aplicação de uma política *lean*. Para a implementação teórica da política proposta, estaremos considerando as seguintes ferramentas *lean* descritas no Quadro I:

Quadro I – Ferramentas *Lean* para a Cadeia de Suprimentos

	Ferramentas Lean	Aplicação para a Cadeia de Suprimentos
Supermercados	São ferramentas utilizadas quando existem obstáculos entre processos, processos estes denominados como gargalos no sistema. Os supermercados também são aplicáveis para regularização de estoques de matéria-prima e estoques de produtos acabados também, facilitando a implementação do <i>Just-in-time</i> .	Os supermercados são utilizados para estocar produtos e matéria-prima de forma organizada e dimensionada, de acordo com a necessidade do processo cliente.
Kanban	É uma ferramenta utilizada em conjunto com o Sistema de Supermercados para puxar a produção, sua principal função é controlar a reposição de unidades e manter o fluxo contínuo.	O <i>Kanban</i> é responsável por puxar o sistema de produção e sinalizar a necessidade de reposição e carregar todas as informações sobre o produto, que possam ser necessárias para a produção.

Fluxo Contínuo	É um conceito que permite que a unidade de trabalho flua entre as etapas do processo sem paradas entre elas e, portanto, sem a necessidade de transporte e estoques. O principal objetivo da combinação da aplicação das duas ferramentas apresentadas anteriormente é o de criar um fluxo contínuo.	Dentro de cada um dos agentes, é sugerida a aplicação desta ferramenta, mas o desafio é a implementação entre agentes, considerando o tempo de transporte e as oscilações de demanda inerente ao sistema analisado.
Macro Mapeamento de Fluxo de Valor (MMFV)	É um diagrama com todos os agentes envolvidos no processo produtivo analisado, com a representação de estoques, transportes, armazéns e fluxo de informações, desde o pedido até a entrega.	O MMFV auxilia no planejamento e definição da política a ser adotada para a cadeia de suprimentos como um todo. É necessária a captura sistemática de dados, e sua análise, resultando na redução de custo através da eliminação de desperdícios e a criação de fluxos suaves de produção (material) e fluxo de informação (WOMACK; JONES, 2004).

A partir da aplicação das ferramentas *Lean*, é possível visualizar o seguinte modelo proposto na Figura 03, com as modificações propostas:

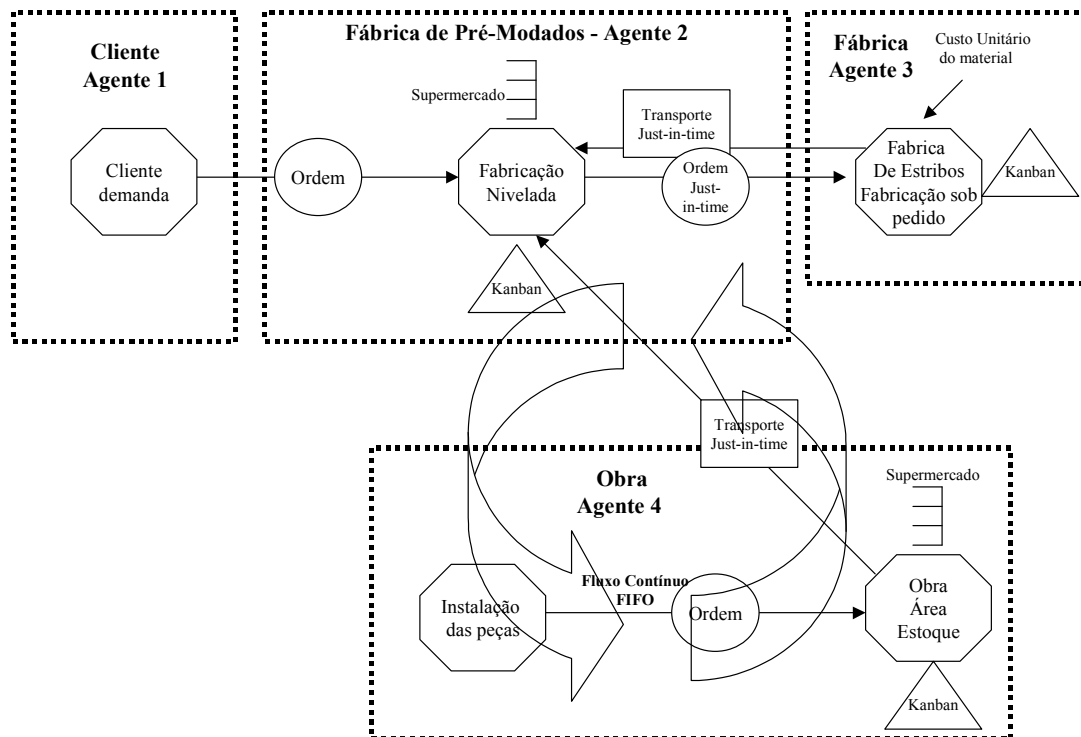


Figura 03 – Diagrama de Influência do Estado Futuro da Cadeia para modelagem computacional

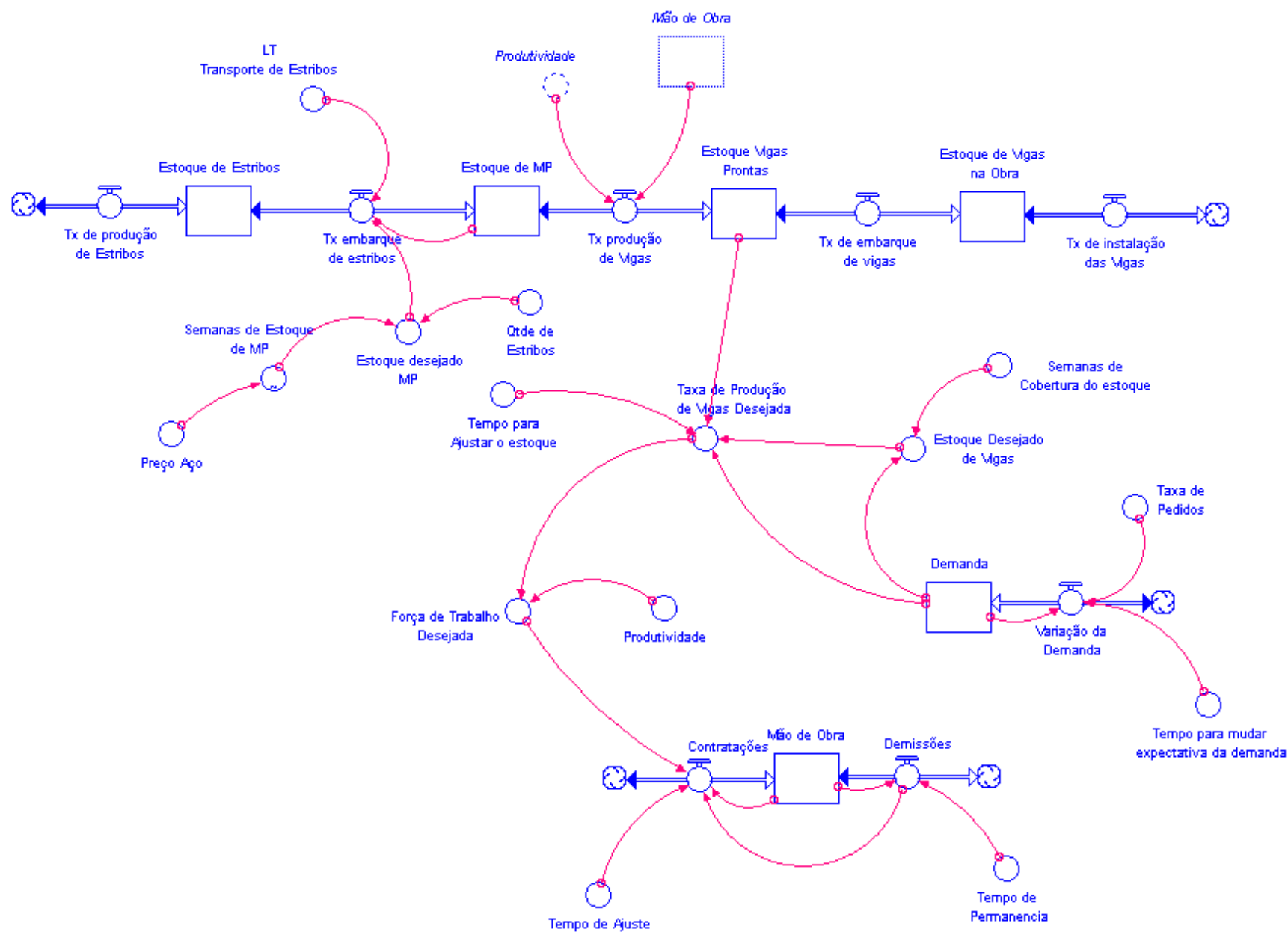


Figura 04 – Primeira modelagem de dados para a cadeia de suprimentos do Cenário 1

5 DISCUSSÃO

Quando realiza-se a comparação entre os cenários 1 e 2, observa-se a necessidade no modelo de estar considerando os atrasos entre pedidos (representado pelas setas com dois traços), e considera-se também os atrasos, e seu impacto na chegada eletrônica dos pedidos entre agentes. Pretende-se com a utilização do simulador proposto, analisar o impacto destes atrasos em dias e custos para o sistema como um todo.

Também observa-se no primeiro diagrama (Cenário 1) uma necessidade de previsão de estoques e custos para disponibilizar os estoques e espaços disponíveis para os mesmos. A variabilidade e a condição de grandes lotes são adicionadas ao sistema, e o tempo de conclusão da obra e incerteza nos tempos são estendidos para a cadeia de suprimentos inteira. No cenário 2 já se considera a criação de dois supermercados, em função da demanda do prazo de obra, e entregas *just-in-time* (por lotes) de pilares e vigas na obra. A entrega realizada de forma nivelada e sincronizada na obra, caracteriza o fluxo contínuo que será proposto, tendo a obra como processo puxador do sistema, se baseando no prazo que o cliente demanda.

A utilização de supermercados nos agentes 2 e 4 são uma opção válida, no que diz respeito a dimensionar o recebimento de peças acabadas na obra. Este fator será levado em consideração quando efetivamente a simulação foi realizada.

O modelo também considera os efeitos da utilização de uma política *lean*, adotando o sistema puxado, baseado na definição de estoques mínimos para a requisição de materiais. *Kanbans* podem ser empregados para solicitar a fabricação e o envio a obra dos materiais solicitados para a instalação em pequenos lotes, evitando, assim, altos níveis de estoque, superprodução e paralisação do fluxo de trabalho das equipes.

A análise de cenários simulados possibilita o melhor entendimento de como funcionam as cadeias produtivas e a definição dos estoques necessários para o funcionamento das suas atividades. Para a sequência de desenvolvimento da pesquisa, os autores estarão modelando as informações dos diagramas de influência para a caracterização destes dois cenários e estudo na viabilidade de utilização do software escolhido, em função de sua facilidade de utilização e modelagem.

6 CONCLUSÕES

Os fenômenos de auto-organização ou emergência são uma propriedade de sistemas que apresentam complexidade dinâmica, a qual decorre da interação de processos de feedback entre variáveis relacionadas com defasagens temporais (delays). Pode-se concluir que o consumo de aço sem um planejamento correto é um fenômeno de emergência em sistemas dinamicamente complexos, com profundas implicações na cadeia de suprimentos da construção civil de pré-moldados como um todo.

A conclusão é que: a estrutura apresentada depende sensivelmente das condições iniciais e da taxa de custo e estoques da cadeia de suprimentos como um todo e não de um agente individualmente. E a intenção do diagrama de influências é preparar sistematicamente as relações e fenômenos para a visualização de seu impacto na cadeia de suprimentos. Na sequência da pesquisa, os dois diagramas serão aplicados no software proposto para estudo e análise dos resultados obtidos.

7 REFERÊNCIA

ALVES, T. C. L. ; TOMMELEIN, I. D. Cadeias de suprimentos na construção civil: análise e simulação computacional. *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 31-44, abr./jun. 2007.

AZAMBUJA, M. M. B. **Processo de projeto, aquisição e instalação de elevadores em edifícios: diagnóstico e propostas de melhoria**. 2002. 149 f., il. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2002.

CZARNECKI, H.; LOYD, N. **Simulation of Lean Assembly Line for High Volume Manufacturing**. **Center for Automation and Robotics**, University of Alabama in Huntsville, Huntsville, Alabama., 2002.

ISATTO, E. L. **Proposição de um modelo teórico-descritivo para a coordenação inter-organizacional de cadeias de suprimentos de empreendimentos da construção**. 2005. Tese (Doutor em Engenharia) – UFRGS, Porto Alegre, 2005.

VRIJHOEF, R.; KOSKELA, L. The four roles of supply chain management in construction. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, v. 6, n. 3-4, p.169-178, 2000.

TOMMELEIN, I. D. Pull-driven scheduling for pipe-spool installation: simulation of a Lean Construction Technique. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, v. 124, n. 4, p. 279-288, 1998.

WOMACK, J.P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Tradução de Ivo Korytovski. Rio de Janeiro: Campus,1992.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade Enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Tradução de Ana Beatriz Rodrigues e Priscilla Martins Celeste. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, J.; JONES, D. **Enxergando o Todo – Mapeando o Fluxo Estendido**. Tradução Paulo Lima e Cleber Favaro. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2004.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 212p.

8 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, pela bolsa de doutorado concedida em andamento, ao primeiro primeira autor do artigo para a realização da pesquisa, às empresas que participaram desta pesquisa e à MUNTE Construções e GERDAU pelos dados disponibilizados. Os autores agradecem ao LALT – Laboratório Avançado de Logística e Transportes da UNICAMP que vem auxiliando no processo de modelagem da cadeia de suprimentos proposta.