

## Modelagem do sistema dinâmico aplicado à cadeia de suprimento: uma revisão

Rebecca Santana Bueno (UTFPR) rebecca\_santana@yahoo.com.br  
João Hugo Martins Trovão (UTFPR) hugo\_868@hotmail.com  
Rui Tadashi Yoshino (UTFPR) ruiyoshino@utfpr.edu.br  
João Luis Kovalski (UTFPR) kovalski@utfpr.edu.br

### Resumo:

A metodologia do Sistema Dinâmico (SD) desenvolvida por Forrester (1961) é amplamente utilizada por pesquisadores para analisar a cadeia de suprimento. Com a globalização e o aumento da competitividade, a eficiência da gestão de suprimento depende de tomadas de decisões com algum respaldo científico, por isso, o uso da ferramenta SD. O objetivo do artigo é fornecer uma revisão de literatura sobre o uso de modelos SD na cadeia de suprimento e identificar possíveis áreas de pesquisa no futuro.

**Palavras chave:** cadeia de suprimento, sistema dinâmico, revisão

## System dynamic Modeling applied to supply chain: a review

### Abstract:

The methodology of System Dynamic (SD) developed by Forrester (1961) is widely used by researchers to analyze the supply chain. With globalization and increased competitiveness, efficiency of supply management depends on decision making with some scientific backing, so the use of the tool SD. The aim of this paper is to provide a literature review on the use of SD models in supply chain and identify possible areas of future research.

**Key-words:** supply chain, system dynamic, review

### 1. Introdução

Ao tempo em que as empresas precisam oferecer flexibilidade, baixo preço, alta qualidade, rapidez e assegurar sua lucratividade em um cenário cada vez mais competitivo, a organização dos negócios e a maneira como são feitos tem sofrido mudanças significativas (DING *et al.*, 2006).

De acordo com Ding *et al.* (2006) novas formas de organizações, como as empresas estendidas (também chamado de cadeia de suprimentos) e empresas virtuais estão sendo, rapidamente, adotadas pela maioria das empresas líderes.

Para Ding *et al.* (2006) a principal razão para esta mudança é a competição global que obriga as empresas se concentrem em suas competências essenciais (ou seja, fazer o que você faz o melhor e deixar que outros façam o resto). Esse novo modo de estabelecer relação entre empresas e fornecedores possibilitou que empresas focassem em suas capacidades e competências essenciais e terceirizassem outras atividades.

A eficiente gestão da cadeia de suprimentos (SCM) tornou-se o objetivo de gestores. Inteligentemente aplicado, SCM é suficientemente maduro para aumentar a sobrevivência de indústrias nesta época de competição global (BADOLE *et al.*, 2012).

De acordo com J.G.A.J. van der Vorst *et al.* (2009) a gestão da cadeia de suprimentos consiste sobre como a cadeia de suprimento deve ser configurada em termos de escolha de

parceiros e da forma como suas atividades de oferta, produção e distribuição de bens são coordenados.

O uso da modelagem SD na cadeia de suprimentos tem sido muito limitado, mas recentemente dada a complexidade das cadeias de abastecimento ganhou maior popularidade (YUAN e ASHAYERI, 2009). O conhecimento originado pelo SD gera um melhor desempenho dos negócios do ponto de vista da velocidade de novos produtos para o mercado e da taxa com que mudamos nossas ações para satisfazer a demanda dos clientes (TOWILL, 1996).

O artigo propõe pesquisar em quais áreas dentro da cadeia de suprimento o sistema de modelagem dinâmico é usado. O gerenciamento da cadeia de suprimento envolve questões como: controle de estoque, desenvolvimento de políticas, tempo de compressão, variação e previsão de demanda, design, integração da cadeia de suprimentos, planejamento da capacidade das redes de remanufatura, cadeias de suprimentos de ciclo fechado com a reciclagem, o estoque gerenciado pelo fornecedor em operações de transporte, o efeito chicote e oscilações de inventário, gestão internacional da cadeia de suprimentos e logística.

O restante do artigo é organizado da seguinte forma. A seção 2 apresenta a metodologia, ou seja, como os artigos foram selecionados. A seção 3 apresenta uma breve apresentação dos conceitos de cadeia de suprimento e sistema dinâmico. Na seção 4 é apresentada a revisão. Por fim, na seção 5, conclui o artigo com algumas considerações e perspectivas para futuros trabalhos e melhorias.

## 2. Metodologia

A pesquisa partiu da base do *google scholar*, sendo as palavras chave *supply chain* e *system dynamics*. Um grande número de artigos foram encontrados presentes em diversas revistas. Entre elas podemos citar: *Journal of Cleaner Production* que possui fator de impacto igual a 2.727, *Computers and Operations Research* com 1.720, *International Journal of Production Research* com 1.115.

A metodologia da pesquisa consiste numa revisão bibliográfica. Foram analisados 15 artigos, do período de 2003 a 2011, focados na cadeia de suprimento com abordagem de sistema dinâmico.

## 3. Referencial Teórico

### 3.1 Sistemas Dinâmicos

O Sistema Dinâmico está crescendo a uma taxa exponencial impressionante (FORRESTER, 1994). A metodologia do sistema dinâmico (SD) foi inicialmente desenvolvida por Forrester (1961) para apoiar o estudo do comportamento dinâmico de sistemas complexos (HJORTH e BAGHERI, 2006).

O interesse em SD está se espalhando devido a sua capacidade única de representar o mundo real. Ele pode aceitar a complexidade, não-linearidade, e as estruturas de *loop* de *feedback* que são inerentes a sistemas sociais e físicos (FORRESTER, 1994).

O sistema dinâmico combina a teoria, métodos e filosofia necessária para analisar o comportamento de sistemas, não só na gestão, mas também em outros campos, como a mudança ambiental, política, comportamento econômico, medicina e engenharia (HJORTH e BAGHERI, 2006). Para Towill (1996) é a aplicação do pensamento de *feedback* e controle de conceitos de engenharia para o estudo de sistemas de organização econômica, e de negócios.

Sistema dinâmico e seus princípios de *feedback* e efeitos secundários também tem ajudado muitos gestores a pensar em como uma estratégia pode ou não funcionar, e que tipo de consequências, intencional ou não intencional podem emergir (HJORTH e BAGHERI, 2006).

Informações de *feedback* e atrasos são usadas para entender o comportamento de sistemas complexos. O SD é uma abordagem auxiliada por *software* para análise e solução de problemas complexos, com foco em análise de política e design (YUAN e ASHAYERI, 2009).

Um modelo consiste em uma combinação de equações diferenciais e *causal loop diagram* que mostram as relações causais entre os parâmetros do modelo utilizando rótulos de texto e setas direcionadas (STORCK, 2010).

O sistema dinâmico possui uma fase qualitativa e uma quantitativa. Na qualitativa, um *causal loop diagram* é construído e então ele é transformado em diagrama de estoque e fluxo. Durante a fase quantitativa, o diagrama de estoque e fluxo é traduzido para um programa de simulação utilizando um *software* para desenvolvimento e simulação dos modelos SD (KUMAR *et al.*, 2011).

Simulações da cadeia de suprimentos pode incorporar processos de *feedback* e demonstrar o impacto da dinâmica da cadeia de suprimentos, e, então levar a compreensão do comportamento dos jogadores, tomada de decisão e da dinâmica na cadeia de suprimentos. Além disso, a simulação torna possível implantar melhorias holísticas através da cadeia de abastecimento, ao invés de solução parcial (YUAN e ASHAYERI, 2009).

A modelagem dinâmica envolve constantes interações entre as experiências e aprendizado do mundo virtual e experiências e aprendizado do mundo real. Inicialmente, determinamos o problema, as variáveis, conceitos chaves que devem ser considerados e o tempo de horizonte. Baseado nisso, desenvolvemos mapas de estrutura causal, usando ferramentas como: *causal loop diagram*, *stock and flow maps*. Especificamos a estrutura e a regra de decisão. Estimamos os parâmetros, as relações comportamentais e condição inicial. Após isso, testamos se o modelo reproduz o problema de comportamento de acordo com o seu propósito e são realizados testes como sensibilidade e robustez. Decide-se qual regras, estratégias e estruturas devem ser implementadas. O modelo abaixo simplifica processo de modelagem SD (STERMAN, 2000).

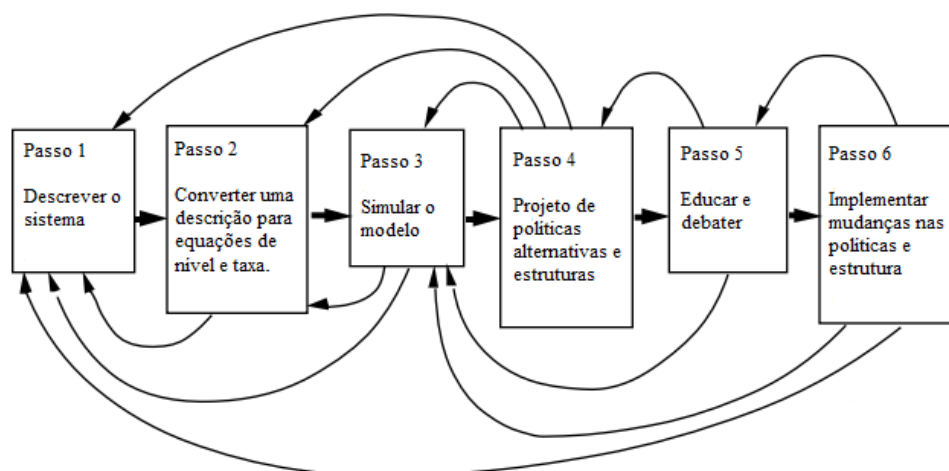


Figura 1 – Passos para a modelagem dinâmica. Adaptado de Forrester (1994)

### 3.2 Cadeia de Suprimento

De acordo com Mentzer et al. (2001) cadeia de suprimento é um conjunto de três ou mais entidades (organizações ou indivíduos) diretamente envolvidas nos fluxos da montante e da jusante de produtos, serviços, finanças e / ou informações de uma fonte para um cliente.

A Gestão da cadeia de suprimentos é uma área de atenção crescente na indústria bem como seu impacto econômico está se tornando evidentemente grande (GEORGIADIS e BESIOU, 2008).

A cadeia de suprimento é estruturada em três aspectos, são eles: os membros, as dimensões estruturais da rede e os diferentes tipos de ligação em todo o processo da cadeia de suprimento (LAMBERT e COOPER, 2000).

De acordo com Lambert e Cooper (2000) incluir todos os membros pode tornar-se muito complexo. O ideal é determinar quais os membros são fundamentais para o sucesso da empresa e da cadeia de suprimento e, portanto, decidir onde dever ser alocada maior atenção e recursos.

As dimensões estruturais da rede podem ser descritas pela estrutura horizontal, estrutura vertical e a posição horizontal da empresa dentro da cadeia de suprimento (LAMBERT e COOPER, 2000). Aumentar ou reduzir o número de fornecedores e/ou clientes irá afetar a estrutura da cadeia de suprimento. Assim como, a terceirização da logística, manufatura, marketing ou atividades de desenvolvimento são exemplos de tomada de decisão que provavelmente irá mudar a estrutura da cadeia de abastecimento (LAMBERT e COOPER, 2000).

A ligação entre os membros da cadeia de suprimento expressa que processos devem ser ligados a cada um dos membros, como por exemplo, gestão da demanda, gestão de atendimento ao cliente, desenvolvimento do produto e comercialização, gestão de serviços ao cliente, realização de pedidos, gestão do fluxo de manufatura, processo de retorno, compras (LAMBERT e COOPER, 2000).

A literatura relacionada ao planejamento e gestão da cadeia de suprimento abrange várias questões, como: previsão de demanda, planejamento da oferta e demanda, planejamento e programação operacional, gestão de riscos e considerações sociais/ambientais (BADOLE *et al.*, 2012).

### 4. Revisão

Kumar e Nigmatullin (2011) realizam um estudo de caso sobre a cadeia de suprimentos de alimentos para produtos não perecíveis. A modelagem realizada tem o intuito de apoiar decisões estratégicas, investigando o impacto da demanda do cliente e o *lead-time* sobre o desempenho da cadeia de suprimentos. Eles utilizam ferramentas como diagrama de *Ishikawa* e *brainstorming* para determinar os fatores que causam incerteza na demanda e consequentemente a ineficiência da cadeia. O modelo SD proposto não leva em conta os custos do processo da fabricação, estoque, transporte e armazenagem, embora todos esses processos e custos tenham grande impacto no desempenho e concepção da cadeia de suprimento.

Van de Vorst *et al.* (2009) propõem incorporar modelos de qualidade dos alimentos e questões de sustentabilidade em conjunto com processos logísticos. Ele faz uso do software ALADIN.

Aproveitando a carência de pesquisas sobre *closed loop supply chain* do ponto de vista macro econômico Kumar e Yamaoka (2007) elaboram um modelo para o mercado de automóvel japonês, com análise do cenário utilizando dados de consumo de automóveis e previsão. O modelo propõe uma visão macro econômica e a relação entre produtos descartados, reutilizados e reciclados e o fluxo na cadeia de suprimento reversa. A simulação SD utilizada dois softwares, o *Simulation Tool and Knowledge Network (SimTakn)* e o Excel.

A fim de auxiliar no processo de tomada de decisão sobre o planejamento da capacidade de atividades de recuperação para cadeias reversas de remanufatura, Vlachos *et al.* (2007) apresenta um modelo genérico levando em conta questões ambientais e econômicas. O modelo é analisado baseado nos princípios da metodologia dos sistemas dinâmicos usando o software *Powersim*.

Um fenômeno muito comum que ocorre nas cadeias de suprimento é a amplificação da demanda. Ge *et al.*(2004) investigam o fenômeno de amplificação da demanda usando a abordagem SD baseado em uma parte de um sistema de cadeia de supermercados no Reino Unido. O modelo usado na pesquisa é baseado no modelo de Silén (1998) construído no software *iThink*. O foco principal é análise de problemas causada pelas políticas de promoção. Eles usam o *MATLAB/SIMULINK* para construir o modelo SD da cadeia de suprimento. A análise da simulação revela também que a partilha de informação é mais importante do que os métodos utilizados na previsão e a velocidade de transmissão de informações.

Na área de produtos eletrônicos, Spengler e Schroter (2003) desenvolvem ferramentas para gestão da informação e gestão de peças de reposição em *closed-loop supply chains*. Usando sistema dinâmico, eles modelaram uma produção integrada e sistema de recuperação para o fornecimento de peças de reposição utilizando o software *Vensim*. Fazer uma avaliação econômica das estratégias alternativas é outra tarefa de investigação.

A confiança entre parceiros na cadeia de suprimentos pode ser utilizada para alcançar certos objetivos. O fator chave para manter a estabilidade de parceiros na cadeia de suprimentos é o benefício e a confiança mútua uns nos outros. Yin e Zhao (2008) compara a cadeia de suprimentos com um sistema biológico. Eles estudam como estabilizar a colaboração e confiança na cadeia de suprimento. Eles apresentam um paradigma de confiança biológico com mecanismos co-evolutivos na cadeia de abastecimento. A pesquisa mostra que o modelo de co-evolução e otimização aritmética pode expressar confiança de colaboração na cadeia de suprimentos.

Hsu e Wang (2008), baseado no modelo Wang e Hsu (2007), propõe um modelo considerando as incertezas do ambiente ao longo da logística reversa expressa em intervalos numéricos e *fuzzy*. O objetivo do *closed-loop green* é minimizar os custos totais de transporte e operações.

Através de um estudo de caso em uma indústria de aço, Storck (2010) discute o processo de estratégia com processo dinâmico de modelagem de custos.

Georgiadis e Besiou (2008) desenvolvem um modelo baseado na metodologia SD para avaliar o impacto da motivação tecnológica sobre o comportamento a longo prazo de uma cadeia de suprimento com atividades de reciclagem. O modelo é apresentado usando o software *Powersim*. O modelo desenvolvido é implementado em uma cadeia de suprimentos de equipamentos elétricos.

Su *et al.*(2009) apresentam métodos matemáticos para modelar o processo de decisão da cadeia de suprimento de tabaco. Eles apresentam o mecanismo de coordenação da cadeia de suprimentos em um ambiente contrário ao risco e introduz o valor de risco condicional como medida de desempenho. Ele também considera os lucros e custos em seu modelo.

Kumar *et al.* (2011) apresenta uma ferramenta para avaliar a rentabilidade das operações de logística reversa em peças deterioradas. Ele desenvolve uma metodologia de análise de *trade-off* e avaliação dos custos de logística reversa. Para esse fim ele utiliza a modelagem baseada no SD.

Briano (2010) estuda a cadeia de suprimento de produtos com ciclo de vida curto, como por exemplo, artigos de moda, aparelhos eletrônicos, serviços de saúde e determinados gêneros alimentícios. A gestão de tal cadeia é mais complexa porque eles levam em conta aspectos como produção limitada e período de venda. A simulação concentra-se nas previsões de demanda e nos tempos de produção, a fim de minimizar os custos totais e, conseqüentemente maximizar os lucros. O modelo foi aplicado a uma empresa de comida italiana.

Ding *et al.* (2006) desenvolvem uma ferramenta para apoiar tomadores de decisão a avaliar, projetar e melhorar a cadeia de suprimento. A ferramenta é composta por conceitos relacionados à modelagem, simulação e otimização das cadeias de suprimento. Ele apresenta dois estudos de caso realizados em uma indústria automotiva e têxtil. Para Ding *et al.* (2006) as ferramentas existentes abordam mais questões operacionais. Questão estratégica, tais como, design da cadeia de suprimentos é raramente abordado. O objetivo do estudo é combinar otimização e simulação para o design da cadeia de suprimento, baseando-se em modelos realistas da cadeia de suprimento dinâmica e na eficiência operacional da cadeia de suprimento. Ele considera a incerteza e variabilidade nos processos da cadeia de suprimento e a incorporação do critério econômico.

Georgiadis *et al.* (2005) adotam a metodologia SD para tratar de questões estratégicas relacionadas à cadeia de suprimento alimentícia, tendo como questão-chave o planejamento de capacidade a longo prazo. A metodologia desenvolvida é aplicada em uma grande cadeia de *fast food* da Grécia. Eles também oferecem um *framework* metodológico genérico que aborda um espectro mais amplo de problemas estratégicos relacionados à gestão da cadeia de suprimento. Eles projetam um sistema de estoque de um único nível e incorporam todas as variáveis de estado (estoque disponível e pedido de estoque) e políticas para controle de estoque e capacidade de planejamento.

Por fim, a tabela abaixo apresenta o tipo de análise realizada em cada pesquisa.

Artigo	Tipo de Análise	Software
A system dynamics analysis of food supply chains – Case study with non-perishable products.	Quantitativo/ Qualitativo	Não especificado
Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics	Quantitativo/ Qualitativo	Aladin
A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains	Quantitativo/ Qualitativo	Powersim
System Dynamics study of the Japanese automotive industry closed loop supply chain	Quantitativo/ Qualitativo	SimTakn e Excel
System Dynamics modelling for supply-chain management: A case study on a supermarket	Qualitativo	iThink, MATLAB/SIMULIN

chain in the UK		K
Strategic Management of Spare Parts in Closed-Loop Supply Chains: A system Dynamics Approach	Quantitativo/ Qualitativo	Vensim
A Coevolutionary Model for Stabilizing Collaboration Trust in Supply Chain	Quantitativo	Não especificado
Closed-loop Green Supply Chain Logistics Model with Uncertain Reverse Parameters	Quantitativo	Não especificado
Exploring improvement trajectories with dynamic process cost modelling: a case from the steel industry	Qualitativo	EDA
Sustainability in electrical and electronic equipment closed-loop supply chains: A System Dynamics approach	Quantitativo/ Qualitativo	Powersim
Quantitative Models for Operational Risk to Implement Tobacco Supply Chain Strategies	Quantitativo/ Qualitativo	Não especificado
A Reverse Logistics Profitability System Dynamics Model of Perishable Medium Volume Returns in Computer Industry	Quantitativo/ Qualitativo	Não especificado
Using a System Dynamics Approach for Designing and Simulation of Short Life-Cycle Products Supply Chain	Quantitativo/ Qualitativo	Powersim
A simulation-based multi-objective genetic algorithm approach for networked enterprises optimization	Quantitativo/ Qualitativo	Não especificado
A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains	Quantitativo/ Qualitativo	Powersim

Tabela 1 – Tipo de Análise e software utilizado

## 5. Conclusão

Foram realizadas pesquisas para desenvolver ferramentas para auxiliar no processo de tomada de decisão no que diz respeito à demanda, *lead time*, design, logística e logística reversa, planejamento da capacidade de atividades, gestão da informação e colaboração na cadeia de suprimento. Alguns dos modelos foram analisados, especificamente, em cadeias de suprimentos de alimentos, eletrônicos, indústria de aço, automóveis e têxtil.

Percebe-se que alguns trabalhos focam em questões ambientais, por meio da relação entre produtos descartados, reutilizados e reciclados e o uso da logística reversa. Pode-se pesquisar ainda como a gestão ambiental impacta na lucratividade e no preço dos produtos.

## 6. Referências

- BADOLE, C.M; JAIN, R; RATHORE, A. P. S; NEPAL, B.** *Research and Opportunities in Supply Chain Modeling: A Review*. International Journal of Supply Chain Management. Vol.1, n.3, 2012.
- BRIANO, E.; CABALLINI, C.; GIRIBONE, P.; REVETRIA, R.** *Using a System Dynamics Approach for Designing and Simulation of Short Life-Cycle Products Supply Chain*. Proceeding WSC' 10 Proceedings of the Winter Simulation Conference. P. 1820-1832, 2010.
- DING, H.; BENYOUCEF, L.; XIE, X.** *A simulation-based multi-objective genetic algorithm approach for networked enterprises optimization*. Engineering Applications of Artificial Intelligence. Vol. 19, p. 609-623, 2006.
- FORRESTER, J.W.** *System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR*. System Dynamics Review. Vol. 10, n.2, 1994.
- GE, Y.; YANG, J.-B.; PROUDLOVE, N.; SPRING, M.** *System Dynamics modelling for supply-chain management: A case study on a supermarket chain in the UK*. International Transactions in Operational Research. Vol. 11, p. 495-509, 2004.
- GEORGIADIS, P.; BESIOU, M.** Sustainability in electrical and electronic equipment closed-loop supply chains: A System Dynamics approach. Journal of Cleaner Production. Vol. 16, p. 1665-1678, 2008.
- GEORGIADIS, P.; VLACHOS, D.; IAKOVOU, E.** *A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains*. Journal of Food Engineering. Vol. 70, p. 351-364, 2005.
- HJORTH, P.; BAGHERI, A.** *Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach*. Futures. Vol.38, p. 74-92, 2006.
- HSU, H.-W.; WANG, H.-F.** *Closed-loop Green Supply Chain Logistics Model with Uncertain Reverse Parameters*. Fourth International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008.
- KUMAR, S.; NIGMATULLIN, A.** *A system dynamics analysis of food supply chains – Case study with non-perishable products*. Simulation Modelling Practice and Theory. Vol.19, p.2151-2168, 2011.
- KUMAR, S.; YAMAOKA, T.** *System Dynamics study of the Japanese automotive industry closed loop supply chain*. Journal of Manufacturing Technology Management. Vol.18, n.2, p 115-138, 2007.
- LAMBERT, D.M.; COOPER, M.C.** *Issues in Supply Chain Management*. Industrial Marketing Management. Vol. 29, p. 65-83, 2000.
- MENTZER, J. T.; DEWITT, W.; KEEBLER, J.S.; MIN, S.; NIX, N. W.; SMITH, C.D. & ZACHARIA, Z. G.** *Defining Supply Chain Management*. Journal of Business Logistics, Vol.22, n. 2, 2001.
- RASJIDIN, R.; KUMAR, A.; ALAM, F.; ABOSULIMAN, S.S.** *A Reverse Logistics Profitability System Dynamics Model of Perishable Medium Volume Returns in Computer Industry*. Proc. of Int. Conf. on Advances in Industrial and Production Engineering, 2011.
- SPENGLER, T.; SCHRÖTER, M.** *Strategic Management of Spare Parts in Closed-Loop Supply Chains: A system Dynamics Approach*. Interfaces. Vol. 33, n. 6, p.7-17, 2003.
- STERMAN, J. D.** *Business Dynamics—System Thinking and Modeling in a Complex World*. McGraw-Hill, Boston, 2000.
- STORCK, J.** *Exploring improvement trajectories with dynamic process cost modelling: a case from the steel industry*. International Journal of Production Research. Vol. 48, n. 12, p. 3493-3511, 2010.
- SU, Y.; LEI, Y.; HUANG, X.; DAI, Y.** *Quantitative Models for Operational Risk to Implement Tobacco Supply Chain Strategies*. Fourth International Conference on Cooperation and Promotion of Information Resources in Science and Technology, 2009.



**TOWILL, D. R.** *Industrial Dynamics modelling of supply chains. Logistics Information Management.* Vol. 9, n. 4, p. 43-56, 1996

**VAN DER VORST, J. G. A. J.; TROMP, S. O.; VAN DER ZEE, D. J.** *Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics.* International Journal of Production Research. Vol. 47, n. 23, p. 6611-6631, 2009.

**VLACHOS, D.; GEORGIADIS, P.; IAKOVOU, E.** *A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains.* Computer & Operations Research. Vol. 34, p. 367-394, 2007.

**YANG, F.** *Study on Model of Supply Chain Inventory Management Based on System Dynamics-Real Example Analysis of Distributor System Vensim Simulation Model.* International Conference on Information Technology and Computer Science, 2009.

**YIN, M.; ZHAO, S.** *A Coevolutionary Model for Stabilizing Collaboration Trust in Supply Chain.* Fourth International Conference on Natural Computation, 2008.

**YUAN, X; ASHAYERI, J.** *Capacity expansion decision in supply chains: A control theory application.* International Journal of Computer Integrated Manufacturing Vol. 22, n. 4, p. 356-373, 2009.