

Modelagem matemática para planejamento de operações em uma empresa de manufatura enxuta

Almeida, J. F. F., Bastos, F. P., Conceição, S. V.

Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 - CEP: 31270-901 - Belo Horizonte - M.G.

Resumo — Apresenta-se um modelo matemático para determinação do número de kanbans em um sistema de produção discreta multi-produto em uma empresa de manufatura. O aumento da demanda e do número de pedidos que não são entregues no prazo incentivaram a realização deste estudo. O kanban é adotado pelo fato deste apresentar baixo custo de implantação e fácil entendimento pela mão de obra presente. Foi feito um modelo matemático de programação inteira para determinar a quantidade ótima de kanbans por período e produto.

Palavras-chaves — Planejamento da Produção; Kanban; Programação Matemática

I. INTRODUÇÃO

Sistemas de Manufatura Enxuta buscam melhorar a forma de organizar e gerenciar os relacionamentos de uma empresa com seus clientes, cadeia de fornecedores, desenvolvimento de produtos e operações de produção através da redução sistemática de desperdícios. Para conseguir estes objetivos, técnicas como produção em pequenos lotes, redução de *setup*, redução de estoques e foco na qualidade devem ser utilizadas. A técnica de controle de fluxo de materiais e organização da produção mais conhecida em sistemas de produção “puxada” é o sistema *kanban*.

Medidas de desempenho permitem visualizar a *performance* dos processos que utilizam o *kanban* como estratégia de controle de fluxo de materiais. Os indicadores de desempenho utilizados nestes sistemas são: (i) lead time de produção, ou seja, o tempo necessário para produzir uma ordem de produção. Neste caso, o *kanban* permite determinar o momento que a ordem de produção foi iniciada (o momento que o *kanban* foi colocado no posto); (ii) o estoque em processo; (iii) número de produtos acabados; (iv) nível de serviço e (v) tempo de resposta ao cliente.

O presente estudo foi motivado pelo sistema de produção de medalhas, pins e chaveiros em uma empresa de manufatura enxuta onde o significativo aumento da demanda e o crescimento desestruturado levou ao aumento percentual no número de pedidos não são entregues no prazo. Dessa forma, *kanban* foi adotado pelo fato deste apresentar baixo custo de implantação e fácil entendimento pela mão de obra presente. A modelagem matemática desse sistema fornece informações precisas e de maior representatividade auxiliando a redução global dos custos de produção. O objetivo do estudo é demonstrar que técnicas de programação matemática

aplicadas a um problema real de planejamento da produção reduzem o custo operacional e garantem o atendimento da demanda. Esta ferramenta se torna estratégica para a empresa atingir um diferencial competitivo, pois estes produtos apresentam curto ciclo de vida. Dessa forma, a necessidade de re-planejamento (através da alteração do número de kanbans) e inserção de diferentes tipos de modelos na produção é vital. Busca-se então, encontrar não só uma solução que atenda às necessidades pura e simplesmente de atendimento de demanda, mas encontrar a quantidade de *kanbans* que minimize o custo total de produção.

O artigo está organizado na seguinte forma: Na próxima seção tem-se uma revisão do uso de *kanbans* para controle de fluxo de materiais em ambiente de manufatura enxuta. Em seguida, na seção B será dada uma descrição do processo de produção e a metodologia utilizada para tratamento do problema. A modelagem do problema é proposta na seção C. Na seção D, são apresentados os resultados computacionais, sua análise e a comparação com a prática atual. Finalmente, na seção E são apresentadas conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

A. Uso de Kanbans em Sistemas Enxutos de Produção

A técnica de controle de fluxo de materiais por *kanban* em ambientes de manufatura enxuta tem sido muito difundida pelos países de todo mundo após o sucesso da aplicabilidade deste no sistema *just in time* na Toyota, no Japão, permitindo que esta se tornasse em Maio de 2007 a maior montadora de automóveis do mundo [14]. Entretanto, a técnica adotada na Toyota incorporava as condições ambientais do país. A presença de fornecedores e clientes próximos à fábrica montadora, a necessidade de reduzir gastos com movimentação, transporte e limpeza permitiam que o sistema fosse adaptado com sucesso. Dessa forma, a difusão da técnica de controle de fluxo de materiais por *kanban* em outros países deve ser estudada visando a adaptabilidade da mesma às condições ambientais em que cada empresa apresenta. Uma revisão sobre manufatura enxuta pode ser visto em [6] enquanto que [2] faz uma revisão do controle da produção por *kanbans* por diversas metodologias. Este artigo apresenta elementos como determinação do número de *kanbans*, medidas de desempenho, frequências de manuseio de materiais e influência do tamanho do container. Segundo [2], o elemento comum que distingue o sistema *kanban* dos métodos convencionais de controle de fluxo de materiais é a existência de estoque em processo finito e, portanto, um sistema de bloqueio de estações de trabalho. Sistemas puxados não são baseados em previsões. Cada estágio produz

à taxa e a quantidade que o estágio sucessor demanda. Isso evita a produção de itens extra e reduz acumulação de estoques. O funcionamento do *kanban*, em i estações de trabalho, é descrito por [11] nos seguintes passos e é representado esquematicamente na Figura 1:

1 – Periodicamente, o carregador de materiais remove todos os *kanbans* do posto de *kanban* de transporte da estação ($i+1$). O carregador de materiais leva estes *kanbans* para o ponto de estoque da estação i . O tempo entre a retirada de *kanban* e movimentação ao posto seguinte é chamado de tempo de ciclo de transporte.

2 – Assumindo que os materiais correspondentes aos *kanbans* de transporte estão disponíveis ao final da estação i , o carregador de materiais descola o *kanban* de produção, que estava colado nos containeres cheios e coloca este *kanban* no posto de recebimento. Os *kanbans* de produção são movidos e colocados no posto de *kanban* de ordem de produção da estação i .

3 – Para cada *kanban* descolado, o carregador de materiais cola no lugar deste um *kanban* de transporte. O carregador retorna os containeres cheios e seus *kanbans* de transporte para a ponto de entrada de materiais da estação $i+1$. No caso do estoque de materiais de saída da estação i não for suficiente para satisfazer a demanda da estação ($i+1$) o carregador de materiais retira apenas os containeres cheios da mesma. Os *kanbans* extras de transporte são retornados ao posto de *kanban* de transporte da estação ($i+1$).

4 – Assumindo que a estação ($i+1$) esteja ociosa, que um *kanban* de produção esteja disponível no posto de *kanban* de ordem de produção e um container cheio de materiais esteja disponível no ponto de entrada de materiais, o trabalho é iniciado. Quando isso acontece, o container cheio (com *kanbans* de transporte colado neles) é movido do ponto de entrada de materiais estação ($i+1$) para a estação de trabalho.

5 – Quando a estação ($i+1$) enche um container de materiais, é retirado o *kanban* de produção correspondente do posto de ordem de produção e este é colado no container que acabou de ser completado. O container cheio, com o *kanban* de produção neste, é então transportado para a fila de saída de materiais de maneira tal que o carregador de materiais, que está na estação seguinte, possa retirar os materiais. Para pedir mais matérias-primas, a estação ($i+1$) remove os *kanbans* de transporte dos containeres que acabaram de ficar vazios e coloca estes *kanbans* no posto de *kanbans* de transporte do ponto de estoque ($i+1$).

Após fazerem um estudo sobre a evolução de pesquisas sobre o *kanban*, [8] afirmam que há um desencontro entre o que é investigado e o que realmente interessa na prática. Poucos autores focam seus estudos em formas de reduzir custos, diminuir estoques e aumentar a flexibilidade da produção. Há também um grande desconhecimento das vantagens e desvantagens por parte dos usuários finais do *kanban* e seu propósito dentro das necessidades e condições da empresa. Muitos fatores contribuem para a confusão e dificuldade de entendimento dos resultados das pesquisas. Existe um consenso de que, em um sistema de dois cartões, a quantidade de *kanbans* de transporte deve ser igual à quantidade de *kanbans* de produção, entretanto não há, necessariamente, tal necessidade. A determinação do tempo exato de movimentação de *kanbans* e materiais é outro quesito pouco explorado na literatura.

Kanbans funcionam como um mecanismo de bloqueio. Se o estoque da estação subsequente está completo, então a

estação deve ficar ociosa até que algum item saia do estoque. Durante este tempo a estação é caracterizada como bloqueada. Quando não existe distância entre estações, o sistema de cartão único é adotado e as estações são bloqueadas pelo tamanho total da fila (itens no supermercado); enquanto que, em um sistema de dois cartões existe distância entre as estações e um sistema de busca e manuseio de materiais passa a ser necessário. Segundo [3], sistemas de dois cartões podem adotar tanto a estratégia de quantidade fixa - ciclo de retirada irregular, (o pedido de materiais é feito quando o número de cartões atinge determinado ponto de ordem) como ciclo de retirada regular - quantidade variada. Geralmente o ponto de ordem é definido como a quantidade de itens necessária para abastecer a linha de produção pelo tempo de reabastecimento de materiais.

O controle de produção por *kanban* pode ser resolvido pela determinação do número de *kanbans* para alcançar o nível de serviço desejado, porém o nível de serviço mínimo é determinado, na prática, por tentativa e erro com aumento ou redução do número de *kanbans*. Este problema é complexo por causa da interdependência das estações causado pela capacidade finita de estoque entre as mesmas.

Ao assumir tempos determinísticos de processamento podemos utilizar modelos multi-período e multi-estágio para determinar o número ótimo de *kanbans*. O objetivo desse trabalho é determinar, por meio de programação matemática, a quantidade de *kanbans* para os produtos ao longo do período de planejamento de forma a minimizar o custo total de estoque no processo produtivo. Segundo [2], existem poucas pesquisas dedicadas ao estudo do tamanho de container e lotes de produção. O tamanho de lotes de produção é uma variável de decisão importante porque ele afeta o *lead time* de produção, o número de *kanbans* e o estoque em processo. Muitas pesquisas assumem que o tamanho do container é dado e o tamanho do lote considerado como um container.

Estudos para determinar o número de *kanbans* pode ser visto em [1] e [12]. Este último determina o número de *kanbans* em um sistema de estágio único entre duas estações de trabalho para um padrão de variação linear de demanda enquanto que [1] faz um estudo de quatro variáveis de política *kanban* e quatro critérios de desempenho usando simulação para determinar como ciclos de transporte, regras de prioridade, status de *kanbans* de transporte e números de *kanbans* influenciam tempo médio de espera do cliente, estoque total, número médio de estoque em processo e estoques ao final de cada estação. [5] analisam a adoção de técnicas JIT entre pequenas empresas manufatureiras (menos de 300 operários) na Coreia, uma vez que há uma predominância deste tipo de empresa neste país. [7] projetam um sistema *kanban* dinâmico para uma pequena indústria cujo produto é feito em forno. A produção no nível do chão de fábrica comporta menos de 40 pessoas, o planejamento e controle da produção são feitos por 3 pessoas; recursos e processamento de dados na empresa são muito escassos.

Os estoques têm um papel importante na produção. Estoques cíclicos são mantidos na produção devido ao *trade off* que existe entre o custo de *setup* e o custo de manutenção de estoques; estoques de segurança são acumulados como forma de proteção às incertezas. Dessa forma, ao invés de aumentar a acurácia das previsões de demanda e *lead times* e desenvolver a manutenção preventiva de processos, os gerentes geralmente preferem aumentar os estoques de

segurança. [4] apresentam um modelo de programação matemática para o sistema *kanban* em uma configuração de produção em estrutura de montagem em formato de árvore, capacitado, multi-estágios e determinístico. Motivados por [4], [10] desenvolvem uma heurística de resolução simples para computar o número de *kanbans* em sistemas *kanbans* multi-estágios, não capacitados com estruturas de árvore de montagem onde cada estação produz um produto a cada vez, enquanto que [13] propõem um modelo de programação matemática para sistema puxados em um sistema de: (i) produção; (ii) armazenamento e (iii) transporte multi-estágios e multi-estágios com estrutura de árvore de montagem que leva em consideração a retirada de materiais, a produção e a restrição de tempo de *setup* para lotes de produção.

O presente trabalho é um estudo de caso em uma pequena empresa de manufatura enxuta e consiste na utilização de um método quantitativo de coleta de informações e descrição da operação em questão. Em seguida é desenvolvido um estudo aprofundado através de uso de modelos matemáticos para proposição de melhorias na unidade de produção.

B. O Processo de Produção

A qualidade dos produtos da empresa e a aceitação destes pelo mercado ocasionou um aumento médio de demanda de 36,39% nos períodos de Janeiro a Abril de 2008 em relação a esse mesmo período do ano de 2007, como pode ser visto no Gráfico 1, entretanto, como consequência do crescimento desestruturado da empresa, houve uma redução do nível de serviço desta com o aumento de 19,93% de pedidos entregues em atraso no ano de 2007. No atual sistema existe a constante necessidade de renegociação e esse não cumprimento de prazos gera uma perda de mercado e conseqüente redução de fidelidade dos clientes. Assim, faz-se necessário a implantação de uma metodologia de planejamento e controle de capacidade e do fluxo de materiais ao longo do processo produtivo.



Gráfico 1: Aumento percentual de demanda relativo aos anos de 2007 e 2008

A dificuldade gerencial no controle da produção ocasiona a redução do número de pedidos entregues no prazo. Na atual configuração do sistema de produção os pedidos se tornam prioridades de acordo com a importância do cliente e a data de entrega estipulada. A falta de um plano de produção gera processos não sincronizados e uma produção não alinhada. Este trabalho tem como objetivo demonstrar que uma nova estratégia de planejamento e controle da produção dentro do contexto de manufatura enxuta proporciona melhoria do nível de serviço de uma empresa e o conseqüente aumento de competitividade.

A empresa analisada dedica-se à produção de medalhas, chaveiros e pins. Esta foi fundada em 1996 e apresenta atualmente 50 funcionários em seu efetivo total. Federações esportivas brasileiras e internacionais, empresas de diferentes atuações, associações, entidades de classe e órgãos públicos estão entre a gama de seus clientes. O tipo de processo de manufatura é do tipo *flow shop* com produção de peças à uma variedade média, onde cada produto compartilha as mesmas matérias primas os mesmos recursos de produção. Os produtos fluem pelos seguintes processos produtivos: modelagem, fundição, lixamento, rolagem, banhos químicos e pintura e embalagem. A Figura 1 apresenta uma visão esquemática do processo.

O setor de arte da empresa fornece para a fábrica o clichê, que é o molde para a fabricação das peças. Esse clichê passa por processos de acabamento (lixa, lima, morsa, guilhotina) para se transformar no produto piloto. Essa peça é reproduzida até que se obtenha uma quantidade suficiente para preencher toda a área de silicone. Esse silicone é levado para uma prensa e é processado por 52 minutos. Com isso se obtém a matriz, que será levada para a fundição, para a posterior reprodução das peças. O modelador tem a capacidade de fazer até 5 clichês e sua respectiva matriz por dia.

O processo de fundição recebe uma liga de zinco, alumínio, magnésio e cobre preenche os canais de saída. A matriz vai para a centrífuga e recebe a liga e é então centrifugado, formado as peças. Esse processo é capaz de processar 150 kg de liga por dia. Depois de prontas, as peças da fundição passam por um processo de acabamento, lixamento das laterais e seguem para um tambor que juntamente com xampu e um material plástico são roladas e ganham um brilho característico. Esse processo também prepara as peças para receberem os banhos químicos. As peças, então, seguem para uma centrífuga onde são secadas e então levadas para o setor de banho.

As peças que saem do rolamento são amarradas em fios de cobre e levadas para um recipiente com desengraxante. Em seguida elas são mergulhadas em ácido amoníaco durante alguns segundos e posteriormente levadas para um recipiente com ativador.

Após o ativador, o processo se divide para customização. Em seguida tem-se a pintura e/ou o processo de resinagem e finalmente são embaladas.

C. Modelagem Matemática do Problema

O modelo considera que cada estágio tem capacidade limitada de produção em cada período. Uma consideração do modelo é que a proporção de itens é mantida, assim, é necessário um container de produtos do processo predecessor para fazer um container de produtos do processo sucessor. Uma simplificação adotada foi atribuir um *kanban* à um produto, dessa forma o container não determina o lote múltiplo de produção. Apenas um tipo de *kanban* entra em circulação. Dois pontos de estoque entre dois estágios de produção possuem relação de proporcionalidade. Os índices, parâmetros e variáveis de decisão, assim como o modelo, são descritos abaixo:

Conjuntos:

n – Índice do estágio; $n = 1, \dots, N$.

t – Índice de períodos (dias); $t = 1, \dots, T$.

i – Tipos de produtos a serem produzidos; $i = 1, \dots, I$

Parâmetros:

C_n^i - Custo por container de estoque em processo do item i no estágio n ;

D_t^i - Demanda por produto final em termos de números inteiros de containers cheios do item i no período t ;

K_n^i - Capacidade disponível para produção do item i no estágio n .

A_n^i - Capacidade disponível para armazenamento do item i no estágio n .

Variáveis de Decisão:

U_{int} = Número de *kanbans* soltos preparados para disparar a produção do produto i no início do tempo t no estágio n ;

U_{in0} é o número de *kanbans* inseridos no estágio n no início do horizonte de planejamento;

W_{int} = Número de containers cheios (com seus respectivos *kanbans*) sobrando do produto i no estágio n ao final do tempo t ; W_{in0} é o número de containers cheios de itens i prontos no estágio n no início do horizonte de planejamento;

X_{int} = Número de *kanbans* que disparam a produção para o item i no estágio n , no instante t .

O Modelo é descrito pela seguinte formulação:

$$\text{Min} \quad \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I C_n^i * (U_{in0} + W_{in0}) \quad (0)$$

$$\text{s.t.} \quad W_{in(t-1)} + X_{int} \geq D_t^i \quad i \in I, n \in N, t \in T \quad (1)$$

$$W_{in(t-1)} + X_{in(t-1)} \geq X_{int} \quad i \in I, n \in N, t \in T \quad (2)$$

$$U_{int} \geq X_{int} \quad i \in I, n \in N, t \in T \quad (3)$$

$$U_{int} + W_{in(t-1)} = U_{in0} + W_{in0} \quad (4)$$

$$i \in I, n \in N, t \in T$$

$$X_{int} \in Z^+; \quad U_{int} \in Z^+; \quad W_{int} \in Z^+ \quad (5)$$

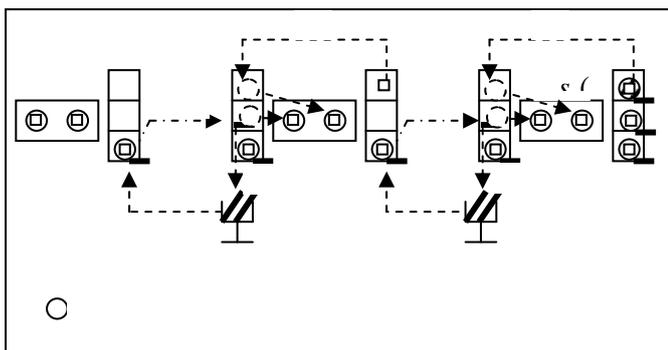


Fig 1: Gestão do fluxo de materiais por *kanban*.

A função objetivo (0) busca minimizar o custo total, que é o somatório dos custos de *kanbans* preparados para disparar a produção e de *kanbans* relativos a itens produzidos no primeiro período. Como o somatório desta quantidade se mantém constante ao longo dos períodos, ou seja, não é acrescido nem decrescido nenhum *kanban* ao longo do funcionamento do sistema, busca se minimizar o somatório

dos custos no estágio inicial. (1) garante que a demanda será atingida. (2) indica que qualquer estágio pode produzir no máximo a quantidade fornecida pelo seu estágio imediatamente predecessor, assim a quantidade de matéria prima do estágio predecessor é sempre maior que a quantidade de produtos no estágio sucessor. (3) limita a produção de qualquer estágio quanto ao número de *kanbans* disponíveis no ponto de produção, sendo assim, a quantidade de *kanbans* disponível é sempre maior que a quantidade de *kanbans* que realmente ativa a produção. (4) representa a conservação do fluxo e determina que o número total de *kanbans* descolados e containers cheios para cada estágio permanecem constantes durante o horizonte de planejamento. (5) determina o domínio das variáveis do modelo.

O modelo de *kanban* original proposto por [4], após ser linearizado se torna um modelo de fluxo mínimo no contexto de fluxo em redes. O programa inteiro se assemelha ao problema de programação linear pela integridade dos dados de entrada e estrutura matricial dada pela formulação matemática. Restrições de capacidade determinam a viabilidade ou não do modelo. Dessa forma, o tempo computacional necessário para resolver esse problema é muito curto. A consideração de lote múltiplo (mais de um item por container) aumenta consideravelmente o tempo computacional de resolução do problema.

D. Resultados Computacionais

O modelo de dimensionamento do número de *kanbans* neste sistema de produção enxuta apresenta-se de resolução rápida. Por questões de sigilo de informação, os dados relacionados a custos de produção e demanda foram multiplicados por uma constante k , mantendo-se assim, uma proporcionalidade aos dados da empresa. O problema foi resolvido em 1,8 segundos apresentando resultado ótimo em um Pentium 4 com processador Intel de 3,2 GHz com 2,00 GB de memória RAM e sistema operacional Windows XP 2002. Optou-se pelo uso do aplicativo GLPK versão 4.9, utilizado para resolução de Problemas de Programação Linear (PPL) e Problemas de Programação Inteira Mista (PPIM). Este aplicativo é livre o que proporciona a aplicação do método nesta empresa de pequeno porte que não pode arcar com altos custos de sistemas de informação.

A capacidade diária de produção para o pin, medalha e chaveiro por setor é de 1000, 750 e 1500 itens respectivamente, enquanto que a capacidade de armazenamento por setor é de 1200, 800 e 1600 respectivamente. Percebe-se, em função dos dados de demanda que a restrição de capacidade produtiva não é muito apertada, assim como a capacidade de armazenamento.

Embora não sejam todos utilizados para produção, a quantidade de itens por processo se mantém, como previsto na restrição (4), à uma quantidade de 511 itens, ao longo dos períodos e horizonte de planejamento. Como o processo produtivo apresenta 6 etapas, tem-se 3.066 por todos os setores. Comparado à realidade da empresa este é uma quantidade muito boa, pois se apresenta inferior à média de 5.900 itens que se tem em processo. Em termos de custo, a fábrica arca com um custo médio de R\$16.000,00 de materiais em processo, enquanto que o modelo apresenta um custo total de R\$10.268,41, apresentando uma redução total de 36% dos custos.

E. Conclusão

O presente trabalho apresenta um estudo de caso de utilização da técnica de otimização para planejamento da produção e uso do *kanban* para auxiliar o controle do fluxo de produção em uma empresa e compara os resultados com a realidade apresentada na mesma.

O modelo matemático de programação inteira mista determina a quantidade ótima de *kanbans* por período e produto. Além de determinação de nível de estoques para o atendimento de demanda, o modelo determina uma configuração de custo mínimo apresentando uma redução de aproximadamente 36%.

A estratégia de modelagem matemática se apresenta de grande valia para a empresa, pois seus produtos apresentam curto ciclo de vida, dessa forma, faz-se necessário o constante re-planejamento da produção em tempo hábil com a inserção ou exclusão de tipos diferentes de produtos.

Uma perspectiva para pesquisas futuras seria evoluir no método de elaboração matemática do modelo, usando novas formulações matemáticas através de reformulação do modelo ou adição de restrições de lote múltiplo, o que torna a modelagem ainda mais próxima da realidade porém de resolução mais demorada.

REFERÊNCIAS

- [1] ARDALAN, A. - *Analysis of Local Decision Rules in a Dual-Kanban Flow Shop*, Decision Sciences Vol.28, No 1, pg.195, 1997;
- [2] BERKLEY, B. J. - *A Review of the Kanban Production Control Research Literature*, Production and Operations Management, Vol.1, No 4, 1992;
- [3] BERKLEY, B. J. - *A Decomposition Approximation for Periodic Kanban-Controlled Flow Shops*, Decision Sciences, Vol23, No2, pg.291, 1992;
- [4] BITRAN, G. R.; CHANG, L. - *Mathematical Programming Approach to a Deterministic Kanban System*, Management Science, Vol.33, No4, pg. 427, 1987;
- [5] CHOONG; LEE - *JIT Adoption by Small Manufactures in Korea*, Journal of Small Business Management, Vol.35, No3,pg. 98, 1997;
- [6] GODINHO F., M.; FERNANDES, F. C. F. - *Manufatura Enxuta: Uma Revisão que Classifica e Analisa os Trabalhos Apontando Perspectivas de Pesquisas Futuras*, Gestão e Produção, Vol.11, No1, pg.1-19, 2004;
- [7] GROENEVELT, H.; KARMARKAR, U.S. - *A Dynamic Kanban System Case Study*, Production and Inventory Management Journal, Vol.29, No2, pg.46, 1988;
- [8] LAGE J. M; GODINHO F. M - *Estudo da Evolução da Pesquisa sobre Kanban por Meio de uma Análise Crítica de Revisões Existentes na Literatura*, XII SIMPEP, 2005;
- [9] MOEENI, F.; CHANG, Y. L. - *An Approximate Solution to Deterministic Kanban Systems*, Decision Sciences, Vol21, No 3, pg.596, 1990;
- [10] MOEENI, F.; CHANG, Y. L. - *A Note On: "An Approximate Solution to Deterministic Kanban Systems": A Commentary and Further Insights*, Decision Sciences, Vol27, No4, pg.827, 1996;
- [11] MONDEN, Y. *Toyota Production System - An integrated approach to just-in-time*. London, Chapman e Hall, 1994;
- [12] SARKER, B. R.; BALAN, C. V. - *Operations Planning for Kanbans Between two Adjacent Workstations*, Computers ind. Engng., Vol31, No1/2, pg.221-224, 1966;
- [13] WATANABE, N.; HIRAKI, S. - *A Mathematical Programming Model for a Pull Type Ordering System Including Lot Production Processes*, International Journal of Operations e Production Management, Vol.15, No.9, pp. 44-58, 1995;
- [14] WIKIPEDIA. *Toyota Motor Company*. www.wikipedia.org/wiki/Toyota_Motor. Acesso em 02/06/2008.