

# Simulação Computacional do Sistema de Coordenação de Ordens

## *Two-Boundary Control (TBC)*

João Francisco Martins e Silva (UFG-CAC) - joffgyn@gmail.com<sup>1</sup>

Aline Gonçalves dos Santos (UFG-CAC) - alinegsantos\_23@hotmail.com<sup>2</sup>

Mariana Landim Silveira Lima (UFG-CAC) - mariana\_lan7@hotmail.com<sup>3</sup>

Aline Elias da Silva (UFG-CAC) - allyne\_elias@hotmail.com<sup>4</sup>

Stella Jacyszyn Bachega (UFG-CAC/UFSCar) - stella@dep.ufscar.br<sup>5</sup>

**Palavras-chave:** Sistemas de Coordenação de Ordens; TBC; Simulação.

### 1. Introdução

O processo produtivo envolve uma série de recursos que necessitam de planejamento e controle para que possam ser alocados em suas respectivas funções com eficiência e eficácia. Os Sistemas de Coordenação de Ordens (SCO) estão inseridos no contexto do controle da produção. Um SCO:

*“[...] programa ou organiza/explode as necessidades em termos de componentes e materiais e/ou controla a emissão/liberação das ordens de produção e compra e/ou Programa/Sequencia as tarefas nas máquinas. Portanto um SCO coordena as ordens de produção e de compras no chão de fábrica” (FERNANDES; GODINHO FILHO, 2007, p. 338).*

Segundo Godinho Filho e Cestario (2008), é possível aplicar os SCO's em um ou mais dos ambientes produtivos *flow shop*, *celular* e *job shop*, que são classificados de acordo com o volume de produção e o nível de repetitividade, sendo o TBC mais adequado a ambientes *flow shop*. Este é um sistema híbrido, sendo que dentre as aplicações de tal sistema, encontra-se a combinação de algumas características do *kanban*, do CONWIP, ou do Estoque-base. Assim, para uma melhor compreensão do TBC, nesse trabalho também serão expostos esses SCOs.

O presente trabalho é estruturado da seguinte forma: na próxima seção os objetivos da pesquisa são detalhados; na terceira seção está a metodologia da pesquisa; na

---

Revisado pelo orientador

<sup>1</sup> Orientando PIVIC – Graduando em Engenharia de Produção

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia de Produção

<sup>3</sup> Graduanda em Engenharia de Produção

<sup>4</sup> Graduanda em Engenharia de Produção

<sup>5</sup> Professora Orientadora – Departamento de Engenharia de Produção

quarta seção encontra-se o referencial teórico; a quinta seção apresenta aspectos da modelagem e simulação do TBC; na sexta seção estão os resultados encontrados e as respectivas discussões; por fim, na sétima seção estão as considerações finais da pesquisa.

## 2. Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é simular o sistema de coordenação de ordens TBC aplicado a um ambiente produtivo *flow shop*.

Logo, os objetivos específicos são:

- Estudar o sistema *TBC*;
- Identificar as variáveis e parâmetros relativos ao sistema em estudo para a realização da simulação;
- Simular o *TBC* no software de simulação computacional Arena<sup>®</sup> considerando um ambiente produtivo *flow shop*.

## 3. Metodologia

A explicação científica utilizada nesse trabalho foi o dedutivismo, mas em sua forma hipotético-dedutiva (CARVALHO, 2000). Além disso, foi usada a abordagem quantitativa (BRYMAN, 1989).

Conforme Berto e Nakano (1998; 2000), os procedimentos de pesquisa mais aplicados em Engenharia de Produção são: teórico-conceitual, experimental, *survey* (pesquisa de avaliação), pesquisa-ação e estudo de caso. Os procedimentos de pesquisa empregados nesse trabalho foram teórico-conceitual e experimental.

Utilizou-se a pesquisa teórico-conceitual como um dos procedimentos de pesquisa. De acordo com Berto e Nakano (1998; 2000), esse tipo de pesquisa é fruto de uma série de reflexões fundamentadas em um fato observado ou exposto pela literatura, reunião de opiniões e ideias de diversos autores ou mesmo pela simulação e modelagem teórica. Os autores, visando a classificação dos trabalhos científicos, propuseram que as observações de campo não estruturadas, as que segundo os mesmos são realizadas sem instrumentos formais de coleta de dados, também sejam classificadas como teórico conceituais. Conforme esses autores, as discussões conceituais baseadas na literatura e revisões bibliográficas são pesquisas que se encaixam neste grupo.

De acordo com Bryman (1989), a pesquisa experimental é mais indicada para abordagens quantitativas. Este procedimento é geralmente relacionado com experimentos controlados em laboratório e também modelagens matemáticas e simulações computacionais. Nesse trabalho também foi usada a simulação do tipo matemática, realizada de forma numérica e estocástica (LAW; KELTON, 1994). A simulação computacional do Sistema *Kanban* foi realizado através do software de simulação ARENA<sup>®</sup> versão 12.00 (*Student*).

O trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira consistia na pesquisa teórico-conceitual e elaboração do modelo conceitual. A segunda etapa consistiu na modelagem e simulação do sistema e análise dos resultados a partir dos relatórios gerados pelo próprio ARENA.

## **4. Referencial Teórico**

### **4.1 *Kanban***

Segundo Lage Junior e Godinho Filho (2008), o *kanban* é mundialmente conhecido como “cartão” devido ao fato de que o sistema trabalha com cartões que informam a necessidade de entregar e/ou produzir determinada quantidade de peças, itens ou matérias-primas. É um método japonês *just-in-time* (JIT) de produção que tem sido criado para substituir as técnicas tradicionais do ponto de reabastecimento e lotes econômicos.

As vantagens desse sistema são (LAGE JUNIOR; GODINHO FILHO, 2007): i) Controle eficiente dos estágios produtivos; ii) Redução dos níveis de estoque (e, conseqüentemente, redução dos custos de estoque e redução do espaço físico necessário para estoque); iii) Redução dos *lead-times*; iv) Facilitação da identificação da raiz de problemas produtivos; v) Redução de refugos e retrabalhos; vi) Atribuição de *empowerment* aos operadores; vii) Controle eficiente de informações; e viii) Simplificação dos mecanismos de administração.

### **4.2 CONWIP**

O *Constant Working In Process* (CONWIP) é um mecanismo de controle que foi proposto por Spearman, Woodruff e Hoop (1990). Este sistema possui como objetivo controlar o nível de estoque dentro da produção, o qual segue a idéia de produzir de acordo com a demanda, ou seja, será produzido, transportado ou comprado somente no momento exato e na quantidade certa que será utilizada.

O CONWIP é uma estratégia de controle da produção que limita o número máximo de partes permitidas dentro de um sistema ao mesmo tempo (BONVIK, 1999). Cada

container que transporta determinada quantidade de material a ser processada carrega consigo um cartão. O cartão é fixado ao container no início da linha quando a produção de determinado item é liberada, o mesmo passa por todos os estágios da produção até chegar ao estoque de produtos finais. Quando o item final é requisitado pelo cliente (externo ou interno) e é retirado do estoque, o cartão que o acompanha é removido e mandado de volta ao início do processo produtivo, onde aguarda para ser fixado em outro container (SPEARMAN; WOODRUFF; HOOP, 1990).

### 4.3 Estoque-Base

Segundo Kimball (1988) *apud* Bonvik *et al.* (1997), o estoque-base limita a quantidade de estoque entre cada estágio de produção e o processo de demanda. Cada máquina tenta manter uma quantidade de material em seu *buffer* de saída, subtraindo a demanda de produtos acabados listados nos pedidos em carteira, se existirem. Esta quantidade é chamada de nível de estoque base da máquina.

Fernandes e Godinho Filho (2007) advogam que o estoque-base é um sistema de fluxo programado. Além disso, como a informação (ordem) vinda do PCP (planejamento e controle de produção) é empurrada em direção à próxima área de estocagem, ele é um sistema que empurra a produção.

Com relação à aplicabilidade, de acordo com Burbidge (1988) *apud* Fernandes e Godinho Filho (2007), o sistema de estoque-base é adequado em um ambiente onde não exista sazonalidade na demanda e exista um grande número de produtos (o que torna bastante difícil a previsão), mas por outro lado, o fluxo de materiais seja simples. Além disso, a vantagem deste SCO é que o sistema responde de imediato a demanda. Sua desvantagem é que não se prevê um limite do número de peças no sistema (DALLERY; LIBEROPOULOS, 1999).

### 4.4 TBC

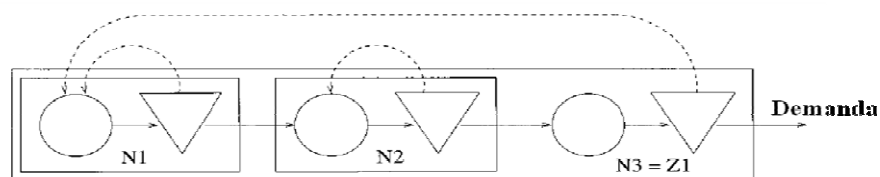
Partindo da exposição dos Sistemas de Coordenação de Ordens apresentados nas seções anteriores, inicia-se a apresentação do TBC (*Two-boundary Control*). Este sistema pode ser composto por características de dois sistemas como, por exemplo, do *Kanban*, do CONWIP e/ou do Estoque-base.

Bonvik *et al.* (1997) estudaram sistemas que são híbridos dos SCO estoque-base e *kanban*, isto é, onde a informação de demanda é propagada diretamente como no estoque-base, mas onde existe, também, limite de estoque como no *kanban*. Van Ryzin *et al.* (1993)

realizaram experimentos numéricos que mostraram que estas abordagens são mais próximas a situação ótima para linhas de dois estágios.

Neste sistema, o tamanho do *buffer* de produtos acabados deve ser pelo menos tão grande quanto o nível de estoque-base da última máquina para permitir que a máquina alcance a produção alvo. Na perspectiva híbrida, ao invés de liberar *kanbans* do estoque de produtos acabados para o último estágio de produção quando as peças são usadas, há o envio destes cartões para o primeiro estágio para autorizar o carregamento de outra peça no sistema. Este *kanban* seguirá a peça todo o caminho através do sistema, enquanto outros *kanbans* recirculam para limitar o local de acumulação de estoque. Além disso, nenhum *kanban* separado é necessário para a sincronização do último estágio produtivo com a linha de montagem, visto que a quantidade de material na linha inteira nunca pode exceder o estoque permitido neste *buffer* (BONVIK *et al.*, 1997).

Ainda conforme este autor, o TBC pode também ser originado do CONWIP, no qual há a limitação de níveis de estoque nos locais intermediários, como pode ser visto na Figura 1. Note que 'Ni' representa o número de *kanbans* circulando na célula 'i'.



Fonte: Adaptado de Bonvik *et al.* (1997, p. 795)

**Figura 1** - Linha de produção controlada por Kanban-CONWIP híbrido

Godinho Filho e Cestario (2008) salientam que o TBC pode ser classificado como um sistema controlado pelo nível de estoque (TBC CNE) caso o funcionamento do CONWIP seja baseado somente no nível de estoque. Entretanto, se o funcionamento do CONWIP seja baseado em uma programação da produção dada por um Planejamento e Controle da Produção centralizado, este pode ser classificado como um sistema híbrido (TBC H).

Kimura e Terada (1981) estudaram o desempenho do *kanban*, do CONWIP e do sistema híbrido (TBC) de quatro máquinas de produção em uma linha de montagem numa indústria automobilística.

As principais medidas de desempenho analisadas por esses autores foram o nível de serviço e a quantidade de trabalhos em progresso, além da variabilidade ao longo da linha,

obtendo resultados por meio de simulações extensivas. Outras medidas utilizadas foram a taxa de transferência mais direta e os níveis de estoque.

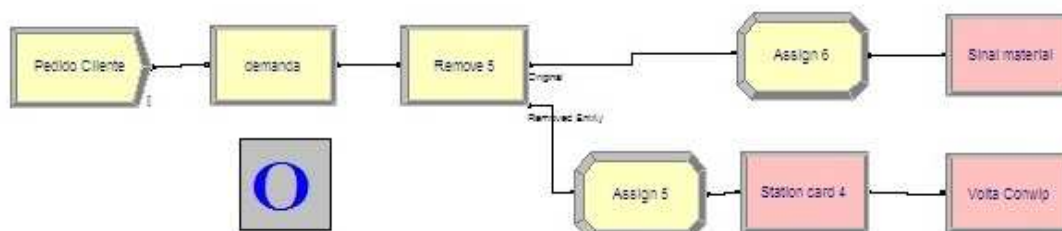
O estudo mostra que o tamanho dos lotes e o tempo de produção de cada peça tem um impacto importante sob o controle *Kanban*, enquanto que o fator principal do sistema empurrado é o grau da previsão do erro. Portanto, a política de controle híbrido permite o crescimento da produtividade e melhoria no nível de serviços para além do que é atingível com o *Kanban* (KIMURA; TERADA, 1981).

## 5. Modelagem e Simulação

A modelagem e simulação do sistema TBC que, como ressaltado no referencial teórico, é composto por dois sistemas de coordenação de ordens, e por isso é classificado como um sistema híbrido. Ainda referente a este aspecto, foi ressaltado que ele pode ser composto pela combinação do sistema *Kanban* e Estoque-base, e, *Kanban* e CONWIP.

Para este trabalho, escolheu-se modelar e simular um sistema híbrido da combinação entre *Kanban* e CONWIP. O sistema possui um módulo que representa o pedido/demanda do cliente e quatro módulos que representam quatro processos. Há, também, a representação de estações de trabalho e um de estoque.

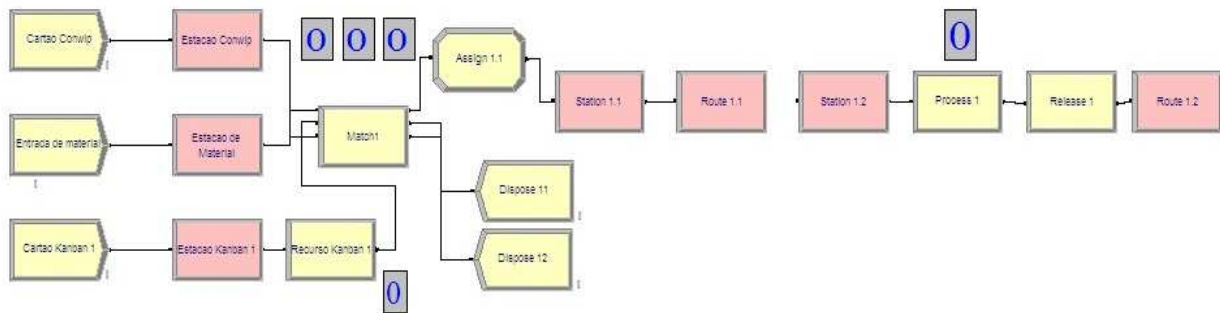
A Figura 2 apresenta a parte da lógica desenvolvida para representar o pedido do cliente, que gera a demanda para produção.



**Figura 2** – Lógica da geração de demanda

Aqui temos o fluxo de informação, onde a demanda é gerada enviando um sinal para linha de material, informando a necessidade de produção. Também temos neste módulo o retorno do CONWIP para o início da linha de produção. Como já citado, o CONWIP é um sistema de coordenação que empurra a produção.

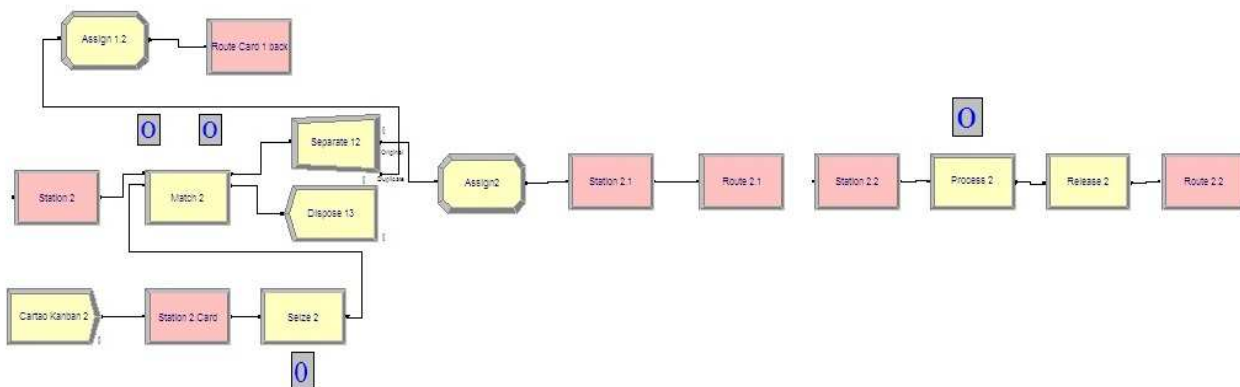
A Figura 3 expõe a parte da lógica que representa uma estação de trabalho de uma linha de produção com seu respectivo processo, bem como a criação do CONWIP e do *Kanban*, e a liberação de material.



**Figura 3** – Parte da lógica da primeira estação de trabalho

Nesta figura temos o início da produção, sinalizado pelo fluxo de informação, liberando material para produção. Partindo daqui, o CONWIP é criado e empurra a produção, sendo anexado o cartão no contenedor que o acompanhara até o fim da produção. Temos a criação do *kanban* que acompanhará o contenedor até a finalização do processo produtivo nesta máquina, retornando ao painel na chegada a máquina dois.

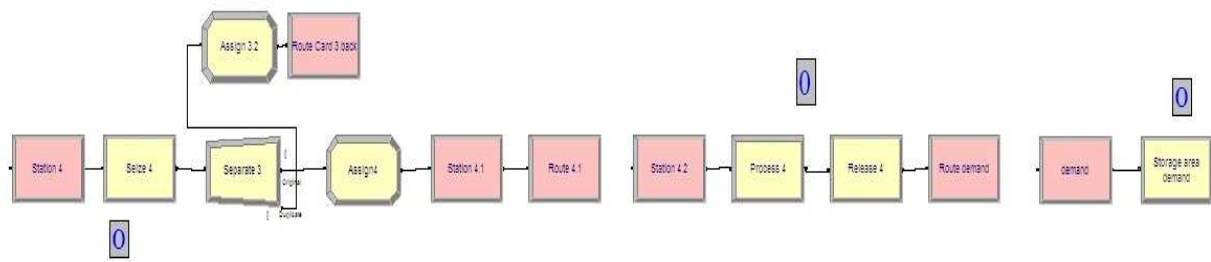
A Figura 4 representa o módulo de produção que contém a criação do *kanban* para o segundo processo, que está alocado à máquina dois.



**Figura 4** – Parte da lógica da segunda estação de trabalho

A lógica representada pela Figura 4 foi replicada por duas vezes, para representar os demais processos, estações de trabalho e movimentação dos cartões CONWIP e *Kanban*.

Por fim, na Figura 5 há a última parte da lógica que representa a finalização da produção e atendimento da demanda, para a o estoque de produtos acabados.



**Figura 5** – Parte final da lógica elaborada

A Figura 5 expõe o retorno do cartão *kanban*, o fim do processo de produção e a estação de saída de material. Cabe ressaltar que as figuras apresentadas nesta seção compõem partes da lógica desenvolvida para representação do sistema completo TBC simulado.

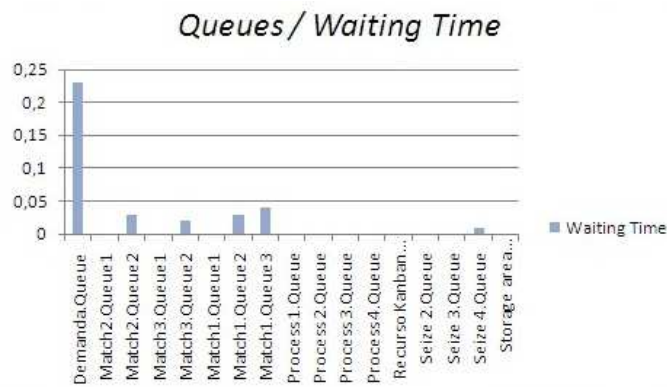
## 6. Resultados e Discussão

No relatório que oferece a visão geral da categoria, o número de entidades que saíram do sistema simulado foi 16, ou seja, 16 produtos acabados ao final do período de análise.

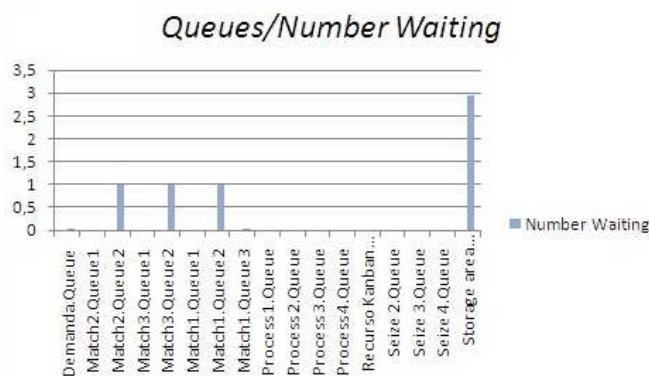
O relatório *Queues* aponta os dados provenientes das filas formadas no sistema simulado. No sistema houve a formação de 17 filas, destas apenas seis filas tiveram tempo médio de espera na fila e todos eles abaixo de um minuto, são elas: *demand*, *match2.queue2*, *match3.queue2*, *match1.queue2*, *match.queue1* e *seize4.queue*. Assim, estes dados apontam que no sistema simulado não houve geração de filas no processamento das entidades. Somente houve filas formadas na formação de pedidos e nos módulos que representam os postos *kanban* e *conwip*. Além disso, o número médio de entidades em espera também foi baixo, menor do que um, tendo a fila de produtos acabados com maior número, em média 2,95 entidades em espera.

As Figura 6 e 7 apresentam, respectivamente, os tempos médios de espera na fila (em minutos) e os números médios de entidades em fila das dezessete filas formadas no sistema.



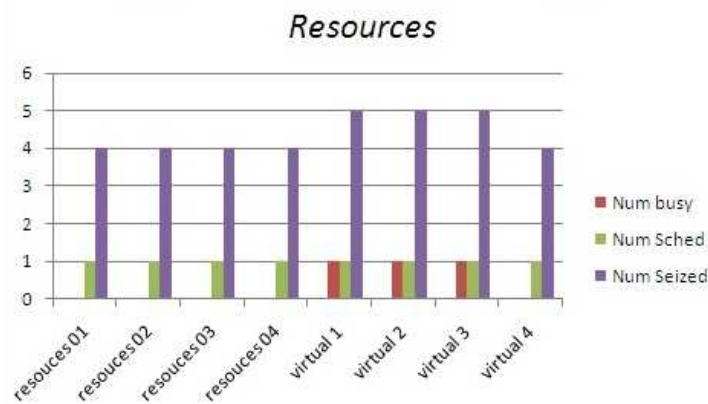


**Figura 6** – Tempo médio de espera na fila



**Figura 7** – Número médio de entidades em espera na fila

Quanto às informações sobre os recursos, os recursos 1 a 4 tiveram 1% de utilização (*num busy*); os postos *kanban* 1 a 3 tiveram 100% de utilização e o posto *kanban* 4 teve com 1%. Ademais, programou-se os recursos de 1 a 4 com o valor 4, os recursos virtual 1 a 3 com o valor 5 e o recurso virtual 4 com o valor 4.



**Figura 7** – Dados relativos aos recursos

## 7. Considerações finais

O presente trabalho permitiu o levantamento das particularidades, vantagens e desvantagens do sistema TBC e a apresentação da simulação computacional do referido sistema. Além disso, possibilitou apresentar os SCO's *Kanban*, CONWIP e Estoque-base que podem ser utilizados em conjunto para a composição do TBC.

Deste modo a eficiência do SCO híbrido se dá por meio da utilização das diversas características de diferentes SCO controlados por nível de estoque, visando à otimização da linha de produção e o gerenciamento do estoque. Este sistema ainda é pouco estudado e explorado no Brasil, havendo pouca produção científica acerca do assunto, o que nos propõe um longo caminho a ser explorado e percorrido mesmo após a simulação.

O objetivo do presente trabalho foi cumprido, uma vez que para realização da simulação realizou-se uma pesquisa teórica conceitual sobre o TBC, estudando o sistema e identificando as variáveis e parâmetros relativos ao sistema em estudo. Assim, posteriormente conseguiu-se realizar a simulação do sistema no *software* de simulação computacional *Arena*<sup>®</sup> considerando um ambiente produtivo *flow shop*.

Nos relatórios gerados a partir da simulação, constatou-se uma melhora na utilização dos recursos, bem como um baixo número de filas e tempo de espera das entidades nestas filas, tendo o *kanban* puxando a produção e o CONWIP empurrando, percebemos uma notável melhora na produção.

Cabe destacar que esse trabalho simulou o SCO TBC em um ambiente de produção *flow shop*, na qual a eficiência de tal sistema poderá ser testado sob várias condições pré-estabelecidas. Este trabalho contribui, então, para uma maior divulgação e compreensão desse sistema de coordenação de ordens, além de atentar para a realização de pesquisas que possam envolver este tema.

## Referências

BERTO, R. M. V. S.; NAKANO, D. N. A produção científica nos anais do encontro nacional de engenharia de produção: um levantamento dos métodos e tipos de pesquisa. **Produção**, v. 9, nº 2, p. 65-75, jul. 2000.

BERTO, R. M. V. S.; NAKANO, D. N. Metodologia da pesquisa e a engenharia de produção. In: XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP) e IV International Congress of Industrial Engineering (ICIE), 1998, Niterói, RJ. **Anais...Niterói: UFF/ABEPRO**, out. 1998. 1 CD-ROM.

BONVIK, A. M.: How to control a lean manufacturing system (1999). Disponível em: <<http://web.mit.edu/manuf-sys/www/amb.summary.html>>. Acesso em: 24 set. 2009.

BONVIK, A.M.; COUCH, C.E.; GERSHWIN, S.B.: A comparison of production-line control mechanisms. **International Journal of Production Research**, vol.35, n. 3, pp. 789-804, 1997.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. London: Uniwin Hyman, 1989. 224 p.

CARVALHO, M. C. M. de. A construção do saber científico: algumas proposições. In: CARVALHO, M. C.M.de (org.). **Construindo o saber**. 2.ed. Campinas, SP: Papyrus. pp.63-86. 2000.

DALLERY, Y.; LIBEROPOULOS, G.: Extended *kanban* control system: combining *kanban* and base stock. **IIE Transactions** (2000) 32, 369-386.

FERNANDES, F.C.F.; GODINHO FILHO, M.: Sistemas de Coordenação de Ordens: Revisão, Classificação, Funcionamento e Aplicabilidade. **Revista Gestão & Produção**, vol. 2, n. 4, pp. 337-352, 2007.

GODINHO FILHO, M.; CESTARIO, J. M.: Escolha de Sistemas de Coordenação de Ordens: *insights* por meio de análise da literatura que compara esses sistemas usando simulação discreta ou modelos matemáticos analíticos. Artigo enviado para avaliação na **Revista Gestão & Produção**, pp.1-27, 2008.

KIMURA, O.; TERADA, H.: Design and analysis of pull system, a method of multi-stage production control, **Int. J. Production Research**, 19(3), 241-253, 1981.

LAGE JUNIOR, M.; GODINHO FILHO, M.: Adaptações ao sistema *kanban*: revisão, classificação, análise e avaliação. **Revista Gestão e Produção**, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 173-188, jan.-abr. 2008.

SPEARMAN, M.L.; WOODRUFF, D.L.; HOPP, W.J.: CONWIP – a pull alternative to *Kanban*. **International Journal of Production Research**. Vol. 28, n.5, p. 879-894, 1990.

VAN RYZIN, G., LOU, S. X. C.; GERSHWIN, S. B.: Production control for a tandem two-machine system. **IIE Transactions**, v. 25, n.5, pp. 5-20, 1993.