

Simulação Computacional do Sistema de Coordenação de Ordens Constant Work in Process (CONWIP)

Cynthia Carneiro Bueno (UFG-CAC) - cynthiacbueno@hotmail.com¹

Mayara de Melo Paranhos (UFG-CAC) - mayara_pmelo@hotmail.com²

Stella Jacyszyn Bachega (UFG-CAC) - stella@dep.ufscar.br³

Palavras-chave: Sistemas de coordenação de ordens; CONWIP; Simulação.

1. Introdução

Em ambientes dinâmicos e mutáveis, nos quais os sistemas produtivos estão passíveis de alterações nas variedades dos produtos e na complexidade de suas estruturas, as atividades de Controle da Produção tomam grande significância, principalmente as atividades denominadas de *ordering systems*, por Burbidge (1990), e redefinida como Sistemas de Coordenação de Ordens (SCO) por Fernandes e Godinho Filho (2007).

Conforme estes mesmos autores, 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/Sequência 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).

Fernandes e Godinho Filho (2007) verificaram a existência de dezessete SCO e Godinho Filho e Cestario (2008), complementando o trabalho anterior, notaram a existência de vinte e sete SCO.

Fernandes e Godinho Filho (2007, p.339) alocam os SCO em quatro grupos: a) Sistemas de pedido controlado; b) Sistemas controlados pelo nível de estoque (CNE); c) Sistemas de fluxo programado; e d) Sistemas híbridos, nos quais possuem características dos sistemas das classes ‘b’ e ‘c’. O sistema CONWIP pertence ao grupo ‘b’.

O objetivo do presente trabalho é descrever o sistema de coordenação de ordens CONWIP, apontando suas vantagens e desvantagens e apresentar a simulação computacional deste sistema em ambiente do tipo *Flow shop*. Para tanto, estudou-se o sistema CONWIP;

Revisado pelo orientador

¹ Orientanda PIVIC – Graduada em Engenharia de Produção

² Graduada em Engenharia de Produção

³ Professora Orientadora – Departamento de Engenharia de Produção

identificaram-se as variáveis e parâmetros relativos ao sistema em estudo para a realização da simulação; e simulou-se tal sistema no software de simulação computacional Arena[®].

O presente trabalho é estruturado da seguinte forma: na próxima seção o sistema CONWIP é detalhado; na seção 3 têm-se o funcionamento do CONWIP; na seção 4 são apresentadas as vantagens e as desvantagens do CONWIP; a simulação deste SCO por meio do *Software Arena* é apresentada na seção 5. Por fim, a seção 6 encerra o presente trabalho com as considerações finais da pesquisa.

2. CONWIP

Constant Work In Process (CONWIP) é uma abordagem adequada para sistemas puxados e foi introduzida por Spearman *et al.* (1990), segundo Sipper e Bulfin Jr (1998). Conforme Herer e Masin (1997), este é um sistema de coordenação de ordens fechado no qual um número fixo de contenedores atravessa um circuito que inclui toda a linha de produção. Fernandes e Godinho Filho (2007) advertem que o estoque em processo corresponde ao número de contenedores na linha.

Conforme Mesquita e Castro (2010) o CONWIP consiste em um sistema híbrido, apresentando características tanto de sistemas puxados, em relação ao controle do nível de estoques, quanto de sistemas empurrados, em relação a sua produção empurrada entre estações de trabalho consecutivas.

3. Funcionamento do SCO CONWIP

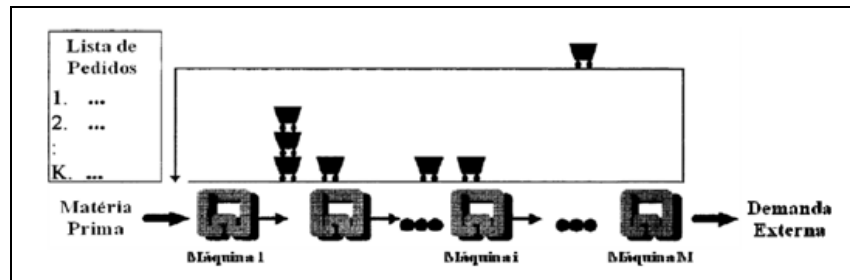
De acordo com Dar-El, Herer e Masin (1997), baseados em Spearman *et al.* (1990), os cartões de produção CONWIP são atribuídos a uma linha de produção. O número de peças é atribuído nos cartões no começo da linha de produção, considerando a lista de pedidos em carteira (*backlog list*). Quando o trabalho é demandado na primeira estação de trabalho da linha de produção, o cartão é removido da fila e marcado com o primeiro número de peças da lista de pedidos para cada matéria prima (ou componentes) presente. Os tempos e números de peças são ajustados e também anotados no cartão, como o tempo de entrada no sistema.

As etapas que refletem o funcionamento do CONWIP são estruturadas a seguir e representadas na Figura 1:

Passo 1) Um cartão é anexado a um contenedor padrão de peças no início da linha. Este cartão é anexado ao contenedor obedecendo à prioridade que consta na lista de pedidos em carteira (*backlog list*).

Passo 2) O contenedor desloca-se na linha de produção e as peças recebem os processamentos necessários em cada estação de trabalho da linha de produção (ex.: máquina 1, máquina i, máquina M da Figura 1).

Passo 3) Quando o contenedor é usado no final da linha, o cartão é removido e retorna para o início, onde espera em uma fila de cartões para eventualmente ser anexado a outro contenedor de peças.



Fonte: Adaptado de Dar-El, Herer e Masin (1997)

Figura 1 - Funcionamento do CONWIP

Cabe ressaltar, conforme Sipper e Bulfin (1998), que o CONWIP é mais aplicável em linhas de produção com fluxo uniforme e estável, ou seja, em ambientes do tipo *flow shop*.

4. Vantagens e Desvantagens do CONWIP

Ovalle e Marquez (2002) abordam as seguintes vantagens do CONWIP em relação a outros SCO's:

- É mais simples no sentido de que somente uma única configuração é necessária para a contagem do cartão, em vez de uma contagem de cartões para cada estação de trabalho (HOPP; SPEARMAN, 1996 *apud* OVALLE; MARQUEZ, 2002).
- Apresenta menor estresse ao operador devido a um protocolo de estimulação mais flexível (HOPP; SPEARMAN, 1996 *apud* OVALLE; MARQUEZ, 2002).
- O sistema CONWIP apresenta um maior rendimento do que o sistema *kanban* para o mesmo número de contenedores (TAYUR, 1992, 1993 *apud* OVALLE; MARQUEZ, 2002).
- Ele lida com as operações do tipo *flow shop* apresentando grandes tempos de preparação e permitindo um grande *mix* de produtos (SPEARMAN; ZAZANIS, 1992 *apud* OVALLE; MARQUEZ, 2002).

- De acordo com o estudo de simulação realizado por Roderick *et al.* (1992) *apud* Ovalle e Marquez (2002), o sistema CONWIP é superior a outros sistemas de produção de controle com relação a datas e tempos de ciclo.
- Huang *et al.* (1998) *apud* Ovalle e Marquez (2002) observaram que o CONWIP é muito eficiente para a produção e para o controle de estoques de produção semi-contínua. Segundo eles, podem diminuir o estoque médio e o custo médio de estoque, e garantir uma maior taxa de transferência e utilização de recursos.

Estes mesmos autores abordam as seguintes desvantagens do CONWIP:

- Este SCO nem sempre gera o menor número de viagens totais entre os estágios (YANG, 2000 *apud* OVALLE; MARQUEZ, 2002).
- O mesmo também pode exigir um maior espaço de armazenamento entre as fases alternadas do fluxo da linha, porque todos os contenedores cheios (com cartões de retirada em anexo) podem acumular-se entre qualquer par de fases alternadas (YANG, 2000 *apud* OVALLE; MARQUEZ, 2002).
- Graves *et al.* (1995) *apud* Ovalle e Marquez (2002), apontam uma grave inconveniência do CONWIP, em que ele não considera o impacto que o gargalo na produção pode ter sobre o desempenho de uma linha de produção.

Conforme Dar-El, Herer e Masin (1997), o CONWIP apresenta vantagens em relação aos sistemas abertos. Pois possui um controle mais fácil, variações menores, e menor média do trabalho no processo de regular os níveis de estoques. Eles são também auto-reguladores. Além disso, conforme descrito no Spearman *et al.* (1990) os sistemas CONWIP são muito robusto às mudanças no ambiente de produção e são mais fáceis de serem percebidos e lidam facilmente com a introdução de novos produtos e mudanças nos mesmos.

5. Metodologia da pesquisa

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.

De acordo com Berto e Nakano (1998; 2000), a pesquisa teórico-conceitual 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.

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 foi usada a simulação do tipo matemática, realizada de forma numérica e estocástica (LAW; KELTON, 1994). A simulação computacional foi realizada com auxílio do software Arena[®].

6. Simulação

A partir da apresentação e explicação do funcionamento do CONWIP apresentado nas seções anteriores, pôde-se simular o funcionamento deste SCO no *software Arena*. Como ele se trata de um sistema produtivo que é acompanhado por cartões para controlar os níveis de estoque, foi preciso criar duas “linhas de produção” no modelo, uma representando os contenedores e outra representando os cartões. Ambas as filas funcionam juntas, apresentando tempos de processamentos iguais.

Definiram-se três máquinas como processadoras (os materiais irão passar por três processos), cinco cartões sendo deslocados na linha de produção e uma entidade por chegada para representar o funcionamento do CONWIP.

Para iniciar a modelagem, a qual apresentará duas linhas de produção, uma ao lado da outra (uma para produção e outra para o cartão), criou uma estação com o nome de “entrada de material” para a produção e outra com o nome de “entrada de cartões” para a linha do cartão. Na estação de “entrada de material”, o tempo entre as chegadas foi do tipo exponencial com média de 5 minutos, sendo uma por chegada. Na estação de “entrada de cartões”, o tempo de chegada foi representado pela distribuição de probabilidade exponencial com média de 1 minuto, sendo cinco entidades por chegada.

Cada linha de produção representada no modelo é detalhada separadamente a seguir, para obter uma maior compreensão de como foi realizada a simulação do CONWIP. Na linha de produção, após a estação de entrada, foi criado um bloco “*Hold*” fazendo com que os materiais aguardem em uma fila e a partir de um sinal possam ser liberadas para a próxima estação, a qual é a de entrada de material. A partir desta estação os materiais são

enviados para o bloco “Route” os quais sofrem um atraso de dez minutos para serem liberados para a próxima estação, que é uma estação de agrupamento dos materiais. Enquanto ocorrem estas etapas na produção, outras etapas são definidas para a linha de cartão, a fim de que ambas apresentem os mesmos tempos. Após a estação de entrada de cartões, os cartões passam por uma estação e vão para o bloco “Hold”, os quais aguardam em uma fila e são liberados por meio de uma condição, que estabelece se a área de armazenagem for maior que um, os cartões são liberados. Um bloco “Signal” é inserido após o bloco “Hold”, para liberar um sinal ao material da área de armazenagem de entrada (localizado na linha de produção). Os cartões são enviados para um bloco “Route” onde sofrem um atraso de dez minutos para serem liberados para a próxima estação.

A modelagem referente a esta parte da simulação é apresentada na Figura 2.

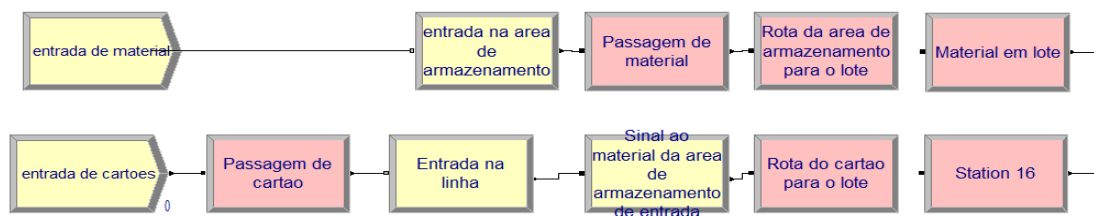


Figura 2 – Primeira parte do modelo desenvolvido

As linhas de cartões e materiais seguem em paralelo, tanto os materiais quanto os cartões passam pelo bloco “Match”, o qual determina que ambas as entidades devam esperar umas pelas outras em diferentes filas e quando ocorrer o número de duas filas, uma entidade de cada fila é liberada e sincronizada para partirem do bloco. A partir daí, encerra-se a linha de cartão com o bloco “Dispose” e o cartão passa a andar junto aos materiais. Ambos são enviados para o bloco “Assign”, a fim de alterar a figura representativa da entidade que percorre na linha de produção, sendo assim, a nova entidade consiste em atribuir cartão ao contenedor para cada contenedor.

Depois de alterar a variável do modelo, o contenedor é deslocado para o bloco “Route”, o qual passa por um atraso de quinze minutos antes de ser transportado para a próxima estação que é o processamento na máquina I. O tempo de processamento da máquina I equivale a uma função triangular de 25 minutos, podendo variar entre 20 e 30 minutos. A lógica utilizada foi de “Seize Delay Release”, significando que após o processamento, a máquina é liberada para outro contenedor. Após o processamento na máquina I, o contenedor passar pelo bloco “Route”, sofrendo um atraso de dez minutos antes de ser processado na

máquina II. O tempo de processamento da máquina II consiste em uma função triangular de 42 minutos, podendo variar entre 40 e 48 minutos. A lógica utilizada foi a mesma que a da máquina I, que foi adotada também para a máquina III.

Antes de passar pela máquina III, o contenedor passa pelo bloco “Route”, apresentando um atraso de vinte minutos. O tempo de processamento na máquina III é uma função triangular de 13 minutos, podendo variar entre 10 e 16 minutos. Após ser processado, o contenedor é transportado para o bloco “Route”, o qual sofre um atraso de quinze minutos, para em seguida ser separado do cartão.

A modelagem referente a esta parte da simulação é apresentada na Figura 3.

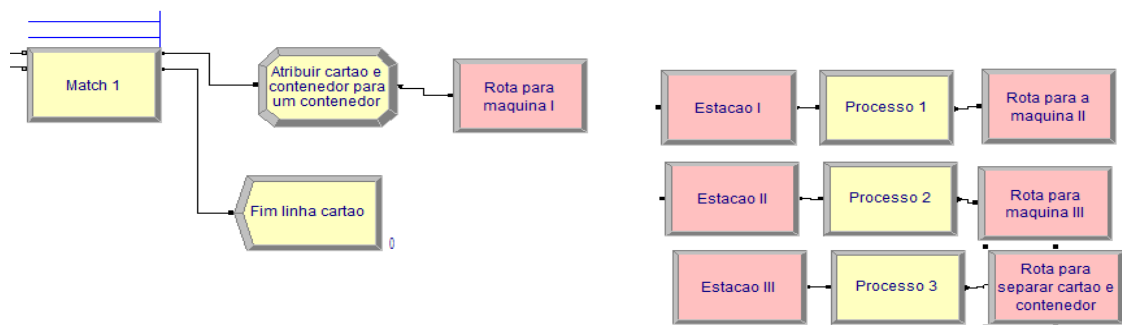


Figura 3 – Segunda parte do modelo desenvolvido

A entidade passa por uma estação de separação e depois pelo bloco “Hold”, o qual aguarda em uma fila por um sinal. Após ser liberado, é transportado para o bloco “Separate”, em que o cartão e contenedor são separados, por meio de uma duplicação da entidade. Sendo assim, o contenedor segue para o final da linha de produção e o cartão é enviado para o bloco “Assign”, o qual sofre uma mudança em sua entidade, passando a ser denominado por cartão azul e depois passa pelo bloco “Route”, o qual sofre um atraso de quinze minutos e retornará ao posto de recebimento.

Como o CONWIP é um sistema de coordenação de ordens puxado, ou seja, produz somente de acordo com a demanda, foi criada no final da simulação uma entidade representando o pedido da demanda, em que a partir de um sinal liberado por esta, o cartão é liberado na linha de produção e conseqüentemente o contenedor. Na estação de “entrada de pedidos”, o tempo entre as chegadas foi do tipo Triangular(50,55,60) minutos, com 1 entidade por chegada até infinitas.

A modelagem referente a esta última parte da simulação é apresentada na Figura

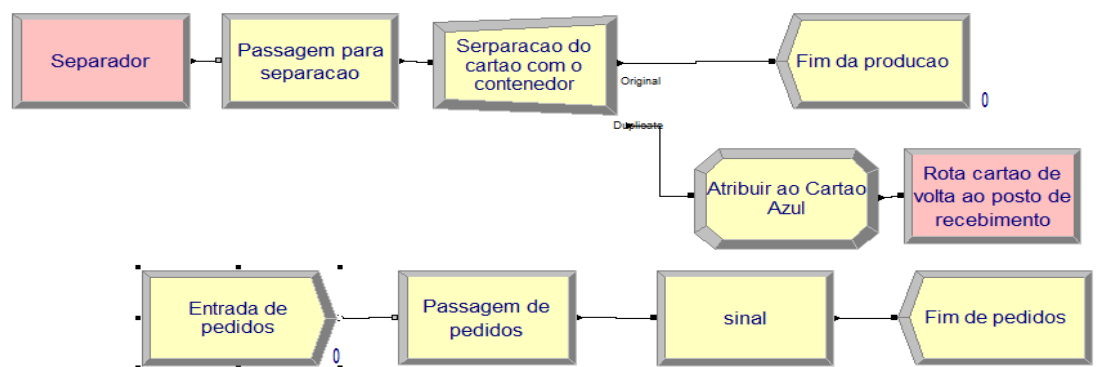


Figura 4 – Terceira parte do modelo desenvolvido

Quando a simulação é executada, o *Software Arena*[®] gera um relatório demonstrando quais os resultados da produção para 480 minutos trabalhados, ou seja, 8 horas de trabalho referente a um dia de trabalho. A partir disso, pode-se perceber que o modelo apresenta um total de 26 entidades que saíram do sistema, ou seja, foram finalizados 26 produtos. Na passagem de entrada para área de armazenamento as entidades tiveram um tempo médio na fila de aproximadamente 2,72 minutos, com um número médio aproximado de 33,67 entidades. Enquanto que na passagem de cartão teve um tempo de médio de 0,05 minutos, com uma média de 0,03 cartões. E na passagem para separação da linha de produção, as entidades tiveram um tempo de espera médio de 0,19 minutos, com um número médio de 0,22 entidades.

Já na passagem de pedidos da linha da demanda, as entidades tiveram um tempo de espera médio na fila de 0,35 minutos, com um número médio de 0,13 entidades. No bloco “*Match*” não houve tempo médio nem entidades na fila, tanto para o cartão quanto para as entidades.

Quando processadas pelas máquinas I, II e III, as entidades apresentaram respectivamente um tempo médio de espera aproximado de ‘0,37’, ‘0,69’ e ‘0’ minutos e aproximadamente uma média de ‘0,51’, ‘0,88’ e ‘0’ entidades em espera na fila.

Para o processamento na máquina I utilizou-se 57,69% do recurso 1, sendo utilizado 11 vezes na produção e apresentou um total de um recurso programado no sistema. Para a máquina II foi utilizado 87,04% do recurso 2, sendo 10 vezes utilizado na produção e apresentando um recurso programado no sistema. E por fim, para o processamento da máquina III utilizou-se 23,72% do recurso 3, sendo 9 vezes utilizados na produção e apresentando um recurso programado no sistema.

7. Considerações Finais

O presente trabalho apresentou os resultados de uma pesquisa teórico-conceitual e experimental sobre o sistema CONWIP de produção, propiciando maior conhecimento sobre esse SCO. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi atingido, no qual houve a descrição do funcionamento do CONWIP, a apresentação de algumas vantagens e desvantagens deste SCO e sua respectiva modelagem e simulação computacional.

Verificou-se, dentre outros pontos, que o CONWIP consiste em um sistema híbrido, apresentando características tanto de sistemas puxados, em relação ao controle do nível de estoques, quanto de sistemas empurrados, em relação a sua produção empurrada entre estações de trabalho consecutivas.

Cabe destacar que esse trabalho compõe a primeira etapa de uma pesquisa que visa simular diversos SCO em ambientes de produção *flow shop*, na qual a eficiência de tais sistemas será testada sob várias condições pré-estabelecidas. Este trabalho contribui para a maior divulgação e compreensão do sistema de coordenação de ordens CONWIP.

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.

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.

DAR- EL, E. M.; HERER, Y. T.; MASIN, M. CONWIP-based production lines with multiple bottlenecks: performance and design implications. In.: **Int. J. Production Economics**, out. 1997. Disponível em:<<http://www.springerlink.com/content/rurhln5ab4l4d4n4/fulltext.pdf>>. Acesso em: 23 de abr. de 2010.

FERNANDES, F.C.F. **Concepção de um Sistema de Controle da Produção para a manufatura celular**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos – SP, 1991.

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. **Paradigmas Estratégicos de Gestão da Manufatura**: configuração, relações com o planejamento e controle da produção e estudo exploratório na indústria de calçados. 2004. 267 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

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.

HERER, Y. T.; MASIN, M. Mathematical programming formulation of CONWIP based production lines; and relationships to MRP. **INT. J. PROD. RES.**, 1997, v. 35, n. 4, pp. 1067-1076.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis**. McGraw- Hill, 2nd edition, 1994.

MESQUITA, M. A.; CASTRO, R. L. Análise das práticas de planejamento e controle da produção em fornecedores da cadeia automotiva brasileira. In.: *Gestão & Produção*, 2008. Disponível em: < <http://www.scielo.br>>. Acesso em: 09 de fev. de 2010.

OVALLE, A. O. R.; MARQUEZ, B. A. C. Exploring the utilization of a CONWIP system for supply chain management. A comparison with fully integrated supply chains. **Int. J. Production Economics**, 83, p. 195-215, 2003.

SIPPER, D.; BULFIN Jr, R. L. **Production: Planning, Control, and Integration**. New York, USA: McGraw-Hill, 1998.

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