

# AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA CONWIP COM O USO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

**Débora Oliveira da Silva (UNISINOS)**  
deboroads@gmail.com

**Andre Cardoso Dupont (UNISINOS)**  
adupont8@yahoo.com.br

**Guilherme Luís Roehe Vaccaro (UNISINOS)**  
guilhermev@unisinis.br

**José Antonio Valle Antunes Júnior (UNISINOS)**  
junico@prodttare.com.br



*O objetivo deste artigo foi avaliar a utilização de um Sistema de Produção Puxada como meio de diluir os efeitos de quebras em uma célula de manufatura de uma empresa fabricante de autopeças. Para isso, fez-se uma busca teórica sobre os conceitos de Kanban e CONWIP, de modo a avaliar, qualitativamente, qual desses dois sistemas melhor se adequaria a realidade sob estudo. Concluiu-se que o CONWIP seria o sistema mais adequado para a situação em questão. Em seguida, utilizou-se a Simulação Computacional para avaliar os impactos da implantação do CONWIP na célula de manufatura estudada. Para conduzir o estudo, foi utilizado o método proposto por Law e Kelton (2000) para estudos de simulação. Após analisar os resultados de dois diferentes cenários (cenário atual e cenário alternativo) verificou-se que a utilização de um Sistema CONWIP se mostrou mais eficiente para o desempenho da célula frente ao sistema de produção empurrada atualmente utilizado.*

*Palavras-chaves: CONWIP. Kanban. Simulação Computacional. Setor Automotivo.*

## 1. Introdução

Dentro da lógica econômica vigente, o incremento da lucratividade provém da redução dos custos de produção dos produtos e/ou serviços (ANTUNES *et. al.*, 2008). A partir desse conceito, a busca pela otimização de processos produtivos é, cada vez mais, fator determinante da sobrevivência de empresas dos mais diversos ramos. Com o intuito de elevar a lucratividade pela eliminação das perdas, os princípios de produção enxuta do Sistema Toyota de Produção (STP) nasceram com a idéia de menor custo de produção para pequenos lotes, resultado de eliminação de inventário e observância quase que instantânea de problemas de qualidade. Os pilares do STP, segundo Ohno (1996), são o *jidoka* (ou autonomia) e o sistema de produção puxada *Just-in-time* (JIT).

A essência da questão, no entanto, consiste em entender o conceito de produção puxada (HOPP e SPEARMAN, 2000). Para esse entendimento, é preciso diferenciar claramente os modelos de produção puxada e produção empurrada. Em geral, essa diferenciação não é clara ou, então, é incorreta. Nesse contexto, Hopp e Spearman (2000) propõem que a variável estoque em processo (WIP – *work-in-process*) seja mandatória para essas definições. Na visão dos autores, um sistema de produção puxada define um limite de WIP *a priori*, enquanto um sistema de produção empurrada não o faz.

Além da já citada confusão entre a distinção de sistemas puxados e empurrados, existe uma tendência em tratar como sinônimas técnicas como o Kanban e sistemas de produção puxada. O *Kanban*, criado pela *Toyota Motor Company*, com apoio de Ohno e Shingo, é uma ferramenta que operacionaliza o sistema puxado (OHNO, 1997; SHINGO, 1996). Como alternativa ao Kanban, Hopp e Spearman (2000) propõem o CONWIP (*CONstant Work In Process*) para operar sistemas de produção mistos.

A temática deste trabalho está focada na utilização de Simulação Computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão no processo de implementação de um Sistema Puxado de Produção. O universo desse estudo será uma empresa do ramo automotivo, mais precisamente uma fábrica de autopeças. Assim, o objetivo principal deste trabalho é avaliar a utilização de um sistema de produção puxada como meio de diluir os efeitos de quebras em uma célula de manufatura de uma empresa fabricante de autopeças. Para direcionar a condução da pesquisa, foi utilizado o método proposto por Law e Kelton (2000) para estudos de simulação.

## 2. Referencial teórico

### 2.1 Sistema Puxado de Produção

Um ponto constante na pauta do debate comparativo entre os modelos de gestão da produção é o fato deste puxar ou empurrar a produção. No entanto, para que essa comparação seja feita construtivamente, é preciso entender o significado de cada um dos termos (puxar e empurrar). Hopp e Spearman (2004) citam que encontram uma crescente confusão sobre como sistemas puxados de produção são definidos. Essa conceituação imprecisa surge a partir do momento em que os principais autores japoneses e idealizadores do STP apresentaram em suas obras definições superficiais sobre o sistema puxado de produção (HOPP e SPEARMAN, 2000). Desta forma, ficou a cargo dos autores americanos, interessados na tecnologia de gestão intrínseca ao STP, fazer a descrição dos conceitos japoneses.

Hopp e Spearman (2004) argumentam que a principal controvérsia está em considerar que

puxar significa produzir produtos de acordo com a demanda, enquanto empurrar seria produzir para estoques ou por previsão de vendas. Contudo, seguindo a lógica deste conceito errôneo, poder-se-ia dizer que um MRP que utilize pedidos firmes para gerar a programação é sistema que puxa a produção. Contudo, o MRP é classicamente relacionado a sistemas empurrados produção (HOPP e SPEARMAN, 2000).

Para esclarecer essa dúvida Hopp e Spearman (2004) postulam que um sistema que puxa a produção define *a priori* um limite para o *work-in-process* (WIP). Por conseguinte, um sistema de produção empurrada não explicita o limite de WIP que pode circular no sistema.

Essa definição simplifica o entendimento do conceito de sistemas produtivos e torna fácil o relacionamento das ferramentas com os conceitos de puxar e empurrar a produção. Assim, Hopp e Spearman (2004) classificam algumas ferramentas com os sistemas puxados e empurrados (Quadro 1).

Sistema	Puxado ou Empurrado?
MRP	Empurrado
Kanban Clássico (OHNO, 1997; SHINGO, 1996)	Puxado
Produção em massa (FORD, 1927)	Empurrado
CONWIP (HOPP e SPEARMAN, 2000)	Puxado
Sistema KS (LIBEROPOULOS; DALLERY, 2000)	Empurrado
Sistema POLKA (SURI, 1998)	Puxado
Sistema PAC (BUZACOTT; SHANTHIKUMAR, 1993)	Puxado
MRP com restrição de WIP (AXSÄTER; ROSLING, 1994)	Puxado

Fonte: adaptado de Hopp e Spearman (2004)

Quadro 1 - Classificação de sistemas encontrados na indústria e/ou na literatura.

A partir deste contexto, o presente trabalho explorará, nas próximas seções, os conceitos dos sistemas Kanban e CONWIP, bem como as principais vantagens e desvantagens de cada um. Com esse referencial, pretende-se analisar, a partir de estudos empíricos, a alternativa mais recomendada para o caso em questão.

### 2.1.1 Kanban

O *Kanban* é, provavelmente, o mecanismo de puxar sistemas produtivos mais conhecido do mundo empresarial (GHAMARI, 2006). Este sistema limita a quantidade de inventário ao fixar um máximo de WIP para cada posto de trabalho, em que esse limite é igual ao número de Kanban circulando entre os postos de trabalho (GSTETTNER; KUHN, 1996). A redução dos inventários em processo resultantes de sua aplicação, pode ainda elucidar problemas diversos antes mascarados pelos altos níveis de estoque, contribuindo assim para o contínuo aperfeiçoamento do sistema produtivo (MOURA, 1989).

O *Kanban* de Produção sinaliza o tipo e a quantidade de componentes que a estação de trabalho precedente deverá produzir para repor o consumo de tal componente em um processo subsequente. Funciona como um dispositivo de controle da produção, substituindo as tradicionais ordens de produção (MOURA, 1989; HOPP; SPEARMAN, 2000). Dessa forma, sincroniza a produção, uma vez que não permite a produção de um lote de peças sem que outro lote já tenha sido consumido por um processo subsequente, conferindo ritmo constante à linha de produção. O *Kanban* de Produção circula somente nos centros de trabalho que

fabricam peças.

O *Kanban* contém apenas informações locais. Isto porque os cartões circulam entre os postos de trabalho diretamente conectados no processo produtivo. O equipamento é bloqueado quando não há mais cartões para serem processados (BONVIK; GERSHWIN, 1996).

### 2.1.2 CONWIP

O CONWIP é um sistema de puxar a produção proposto por Hopp e Spearman (2000) no contexto do livro *Factory Physics*. Essa abordagem objetiva propor uma lógica científica para a manufatura. Isto é feito por meio de um conjunto de equações matemáticas derivadas da Teoria das Filas. Em contraposição à maior parte da literatura sobre redução de *lead time*, que apresenta estudos exploratórios, Hopp e Spearman (2000) reuniram um conjunto de princípios matemáticos para o estudo e determinação do *lead time* (TREVILE *et al.*, 2004).

Standridge (2004), por sua vez, afirma que a abordagem *Factory Physics* fornece uma descrição sistêmica, expressa por meio de algumas leis, do comportamento básico de um sistema. Este autor também aponta que esta abordagem tem o potencial de contribuir para a realização de estudos utilizando simulação. De acordo com este autor, as leis advindas de *Factory Physics* contribuem com estudos de simulação das seguintes formas: a) auxiliando na validação e verificação dos modelos; b) definindo medidas de desempenho a serem estudadas; c) auxiliando na interpretação dos resultados; d) definindo alternativas para avaliação; e) fornecendo uma base analítica que permite um maior entendimento sobre o comportamento do sistema, provendo *insights* nos assuntos tratados.

Nesse contexto, portanto, Spearman *et al.* (1990) propuseram o CONWIP – *CONstant Work-In-Process* – como um mecanismo de puxar a produção alternativo ao *Kanban*. O CONWIP utiliza um único tipo de cartão para controlar o WIP em toda a linha (HOPP; SPEARMAN, 2000). Segundo Ghamari (2006) trata-se de uma generalização do *Kanban*, pois pode ser visto como um *Kanban* com um único cartão.

O CONWIP opera a partir de um número restrito de cartões na linha de produção. Quando um item chega a uma linha controlada por CONWIP, um cartão é anexado ao mesmo. Assim que ocorre o processamento do item, o cartão é retirado e devolvido ao início da linha, para ser, então, anexado à outro item. Nenhum item pode entrar na linha sem um cartão anexado (GHAMARI, 2006).

Para Hopp e Spearman (2000), a principal diferença entre o CONWIP e o *Kanban* é: (i) o CONWIP puxa os produtos no início da linha e os empurra dentro dela; (ii) o *Kanban* puxa os trabalhos entre as estações de trabalho. Por consequência, o *Kanban* exige muito mais pontos de controle do que o CONWIP. Além disso, no CONWIP o cartão não está relacionado ao produto e sim à linha. Desta forma, o WIP está limitado para linha e não para o produto.

## 2.2 Comparações entre CONWIP e Kanban

*Kanban* e CONWIP são as duas estratégias de puxar a produção mais populares na literatura (YANG *et al.*, 2006). Com isso, existem diversos trabalhos que tratam de discutir e comparar essas duas estratégias (SPEARMAN; ZAZANIS, 1992; PARIS; PIERREVAL, 2001; CAO; CHEN, 2005; TAKAHASHI *et al.*, 2005). A Figura 1 apresenta as comparações de operacionalização das estratégias MRP, *Kanban* e CONWIP.

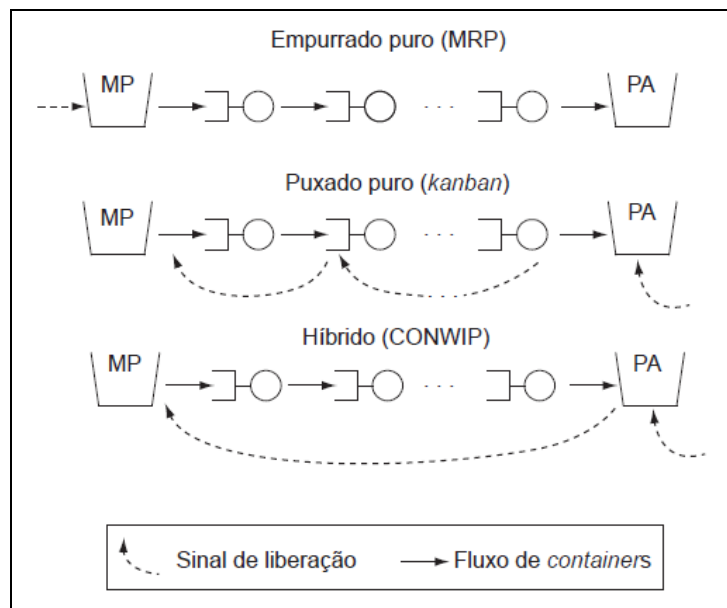


Figura 1 - Sistemas de controle de produção.  
Fonte: Hopp e Spearman (2000).

Como apresentado anteriormente, um sistema empurrado de produção não limita o WIP no sistema (MRP). Já o sistema de produção puxada limita o WIP (*Kanban*). O CONWIP, por sua vez, pode ser entendido como um sistema híbrido, pois limita o WIP dentro da linha, mas não o faz entre os postos de trabalho (HOPP e SPEARMAN, 2000).

Bonvik et al. (1997) propõem o conceito de um sistema híbrido *Kanban/CONWIP* cujo objetivo é combinar as vantagens do CONWIP com as do *Kanban*. Eles compararam as diferentes políticas em uma linha de produção utilizando simulação. Nesta comparação eles concluíram que a estratégia CONWIP reduz o WIP entre 10 e 20% em relação ao *Kanban* para o mesmo nível de serviço. Framinan *et al.* (2003) apresentaram uma revisão da literatura comparativa entre CONWIP e outros sistemas de controle da produção. De acordo com esta pesquisa o CONWIP supera o *Kanban* em sistemas produtivos em que os tempos de processamento possuem variação estatística.

Spearman e Zazanis (1992), por sua vez, concluíram que o CONWIP gera uma média de produtividade maior do que o *Kanban*. No mesmo sentido, Muckstadt e Tayur (1995) apontaram que o CONWIP apresenta menor variação na produtividade e um menor limite de WIP que o *Kanban*. Huang et al. (1998), em um estudo de caso, compararam as duas estratégias, concluindo que o CONWIP possui melhor performance do que o *Kanban*.

Gstettner and Kuhn (1996), no entanto, apresentaram conclusões diferentes das anteriores. De acordo com esses autores, o *Kanban* atinge o mesmo nível de produtividade que o CONWIP com um menor nível de WIP. Isso, segundo os autores, foi possível a partir da melhor escolha da distribuição dos cartões entre as estações de trabalho. Ghamari (2006) apresenta, através de simulação computacional, uma pesquisa comparativa entre *Kanban* e CONWIP. O autor conclui que a primeira estratégia apresenta menor inventário para mesma produtividade. No entanto, o autor destaca que o desempenho dessas estratégias está vinculado a distribuição dos cartões.

Pettersen e Segerstedt (2009) apresentaram um comparativo que conclui que o CONWIP apresentar maior taxa de produtividade, menor tempo entre saídas da linha, porém maior *lead*

*time* do que o *Kanban*. Todavia, os autores argumentam que, na prática, é preciso esclarecer algumas lacunas sobre a implantação do CONWIP, tendo em vista que o *Kanban* já possui uma vasta literatura que apresenta como implantar o mesmo, ao contrário do CONWIP.

A partir destes trabalhos comparativos, percebe-se uma tendência teórica para escolha do CONWIP. Para justificar essa escolha do CONWIP para o presente trabalho os seguintes argumentos foram determinantes:

- o fato do CONWIP ter apenas um tipo de cartão para linha como um todo e não um tipo de cartão por estação de trabalho simplifica a gestão do sistema (HOPP; SPEARMAN, 2000);
- o CONWIP consegue adaptar-se as mudanças de mix, pois não exige cartões e dimensionamentos por produtos (HOPP; SPEARMAN, 2000). Este item é fundamental na indústria de autopeças, tendo em vista que a variedade de produtos tem aumentando muito nos últimos anos e tende a continuar nesse sentido (SEIDEL, 2003);
- a maior parte das pesquisas mostra que o CONWIP apresenta menor WIP para a mesma taxa de produtividade (OVALLE; MARQUEZ, 2002);
- o CONWIP se adapta a melhor a operações com maiores tempos de quebras e setups e variação de mix (SPEARMAN; ZAZANIS, 1992), sendo a alta incidência de quebras o problema central deste trabalho.

### 2.3 Simulação Computacional

Pode-se definir simulação como a criação de um modelo, com objetivo de representar um sistema em um momento particular, de acordo com os objetivos de determinado estudo, para interagir de forma indireta e simplificada com esse sistema. Utiliza-se um modelo como base para exploração e experimentação da realidade. Dessa forma, submete-se esse modelo às entradas conhecidas (dados) a fim de observar os efeitos dessas entradas na saída do sistema (LAW; KELTON, 2000; PIDD, 1998).

A Simulação Computacional pode ser caracterizada, conforme Pidd (1998), por três tipos diferentes de abordagens: simulação por eventos discretos, simulação contínua e uma combinação entre essas duas. Nesse estudo focar-se-á a Simulação Computacional por eventos discretos. Isso significa que serão tratados sistemas com comportamentos dinâmicos, que podem variar ao longo do tempo, mas cuja mudança de estados ocorre de forma discreta. Além disso, dada a natureza de um modelo, o nível de detalhamento e a velocidade de desdobramento de cada evento desse sistema podem ser manipulados de acordo com os objetivos do estudo.

### 3. Apresentação do Estudo

A pesquisa ora relatada tem como ambiente uma empresa do ramo automotivo, mais precisamente uma fábrica de autopeças pertencente a um condomínio industrial de uma montadora da região sul do Brasil. Essa empresa tem atuação multinacional, fornecendo componentes para grandes montadoras de veículos em diversos países. A fim de manter em sigilo o nome da empresa estudada, denominar-se-á a mesma como empresa “Alfa”.

O foco desse estudo é uma célula de manufatura que produz três diferentes tubos a partir de *blanks* recebidos, em amarrados, de um fornecedor internacional. A célula funciona em três turnos de oito horas cada, de segunda à sexta-feira. As atividades produtivas são realizadas por dois operadores, que dividem o trabalho na célula. Nos momentos de paradas programadas de um dos operadores, como refeições e reuniões de produção, estes se revezam, de modo a não permitir que a célula pare por falta de operador.

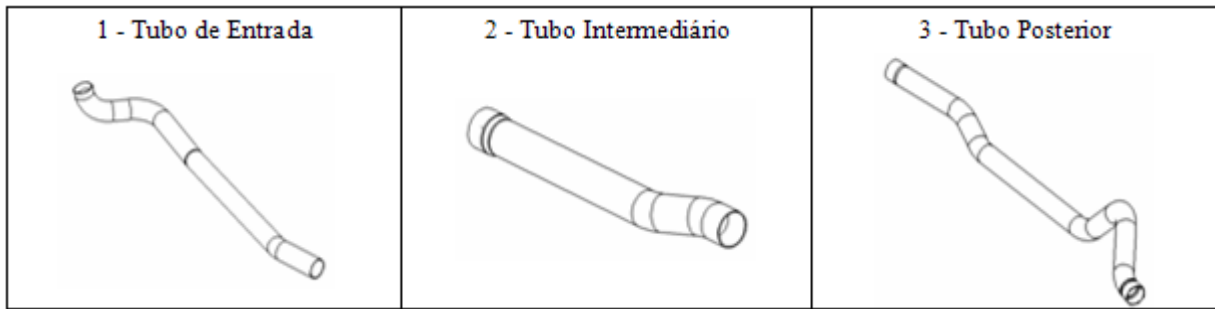


Figura 2 - Tipos de Tubos

A programação de produção é fixa, segundo um plano mestre de produção. Nesse plano, é determinado qual produto deve ser produzidos em cada intervalo de dia. Caso ocorra alguma parada não programada na célula, o plano de produção deverá ser revisto pelo supervisor de produção, de modo a reprogramar a célula até que a situação estável do estoque seja atingida.

### 3.1 Descrição do Processo na Célula de Tubos

A Célula de Tubos é composta por três máquinas e produz três tipos de tubos. Uma Curvadeira CNC realiza o processo de conformação a frio dos *blanks*, curvando-os a partir de um programa CNC. Uma máquina TC realiza o corte da extremidade do tubo, de modo a retirar parte do mesmo. Esta máquina somente é utilizada na fabricação do Tubo de Entrada. Outra máquina, denominada IO/EF realiza a calibração e/ou expansão do diâmetro das extremidades do tubo, de modo a permitir o encaixe posterior das partes na montagem do sistema completo na linha de montagem. Após serem produzidos, os tubos são armazenados em caixas metálicas e seguem para o estoque intermediário, entre a Célula de Tubos e a linha de montagem. O fluxograma de processos da Célula de Tubos é apresentado na Figura 3.

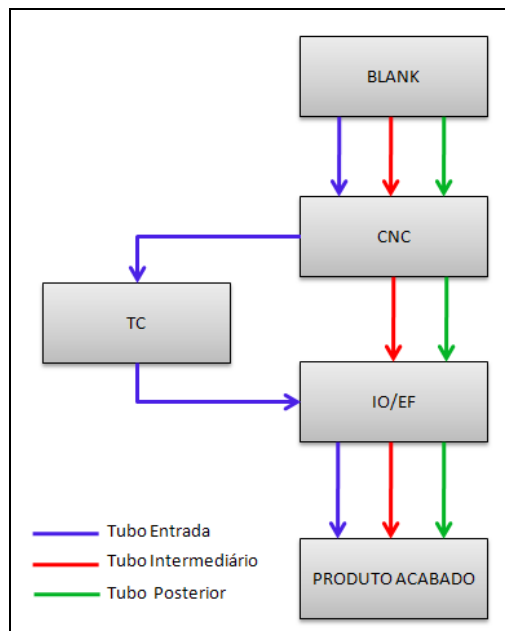


Figura 3 - Fluxograma de Processos Célula de Tubos

Dentre os recursos disponíveis na Célula de Tubos, a máquina Curvadeira CNC é a mais crítica em termos de capacidade produtiva. As demais máquinas, TC e IO/EF, assim como os operadores, dispõem de capacidade suficiente para suportar até mesmo o dobro da demanda.

No entanto, a Curvadeira CNC está bem próxima do limite de sua capacidade total.

Não obstante ao fator de estar trabalhando próxima à sua capacidade total, a Curvadeira CNC apresenta baixa confiabilidade. Para este equipamento, o tempo médio entre falhas (MTBF) é de 11,66 dias e o tempo médio de reparo (MTTR) é de 0,29 dias, o que gera uma disponibilidade aproximada de 97,57%. As demais máquinas da célula não apresentam esse tipo de problema. No período de um ano, a TC quebrou somente uma vez e a IO/EF, três vezes.

Pela baixa confiabilidade, que acarreta questões associadas à Eficiência Operacional, a Célula de Tubos não produz diretamente para seu processo cliente (a linha de montagem) e sim para um estoque intermediário. Esse estoque foi dimensionado considerando o tempo necessário para o reabastecimento da linha de montagem da fábrica Alfa pela planta da fábrica situada na região sudeste do Brasil, considerando o momento do pedido até a chegada do item na planta da região sul. Ações sobre a eficiência operacional da célula estão sendo tomadas, mas não fazem parte do escopo do presente estudo.

Considerando que a demanda para os três itens é sempre a mesma, uma vez que para cada produto final é consumido um tubo de cada, o estoque de segurança para cada tipo de tubo é o mesmo. Dessa forma, obteve-se o número de peças do estoque de segurança multiplicando a demanda diária da linha de montagem (800 unidades) pelo tempo de ressurgimento dos itens em caso de parada da Célula de Tubos (5 dias), resultando em um estoque de segurança de 4.000 unidades de cada um dos tipos de tubo.

### 3.2 Modelagem do Sistema

A modelagem do sistema foi realizada com a utilização da ferramenta *Micro Saint*. De acordo com Pidd (1998), o *Micro Saint* é um simulador que utiliza conceito de VIMS (*Visual Interactive Modeling System*) para simulação discreta por eventos. Este software utiliza a abordagem chamada de rede baseada em atividades, na qual cada entidade representa uma atividade. Esta atividade pode envolver uma ou mais entidades ou mais de uma unidade de recurso do sistema.

O ponto de partida para a construção do modelo de simulação foi o fluxograma de processos da Célula de Tubos, seguido por coletas de dados que pudessem representar o comportamento do sistema. As informações sobre o processo foram obtidas junto aos gestores e operadores da referida célula, além de acesso aos dados históricos disponíveis. A coleta de dados foi realizada durante três semanas e as distribuições de tempos foram ajustadas com apoio do software Minitab 15, com base no Teste de Anderson-Darling. A significância utilizada para o dimensionamento das amostras durante o estudo foi de 5%, com poder estimado de 80%.

A seguir serão explicados os principais elementos modelados:

- *changeover* e *downtime*: na empresa Alfa os tempos de paradas programadas e setups são armazenados como somatórios diários de paradas. A partir da distribuição de probabilidade desse conjunto de dados históricos, foi modelada no sistema uma lógica de subtração de tempo diário disponível. Essa simplificação foi necessária, pois o histórico de dados não permitia determinar detalhadamente os tempos de troca na forma de uma matriz de transição (matriz de setup, por exemplo);
- *blank*: a entrada de tubos (entidades transitórias, tags) no sistema se dá conforme o plano mestre de produção. Basicamente, é determinado que a cada dia de produção deva ser feito somente três lotes de produtos, um de cada tipo de tubo. Para modelar essa lógica de produção, foi determinado o intervalo do dia em que deve ser produzido cada tipo de tag,



- respeitando a lógica do plano mestre de produção, com base no histórico disponível;
- atividades Curvadeira CNC: a máquina CNC funciona de maneira automática, necessitando da intervenção do operador somente para as atividades de abastecimento e desabastecimento da máquina. Para modelar tanto a função processo quanto a função operação envolvidas nessa atividade, foram modeladas três atividades separadas: carga, ciclo e descarga. Foi estabelecida uma lógica de prioridades de tal forma que o operador primeiramente faça a descarga para posteriormente fazer a carga da máquina;
  - refugo CNC: os refugos da células são gerados basicamente pelas quebras da máquina CNC, dessa forma, essa atividade visa contabilizar os refugos resultantes de tais eventos;
  - TBF CNC e TTR CNC: esse conjunto de atividades paralelas visa representar o comportamento de quebras da máquina CNC. Para isso, foram coletados os dados históricos de MTBF e MTTR da referida máquina, modelando pausas na produção de acordo com essas distribuições de probabilidade;
  - linha de montagem: nessa atividade foi modelada a distribuição de probabilidade que representa o consumo dos tubos pela linha de montagem, desconsiderando os possíveis refugos gerados pela mesma, tendo em vista que são valores inexpressivos;
  - roteiros produtivos: para representar os roteiros produtivos dos tubos, foram modeladas atividades para representar o fluxo de processo, baseadas nas distribuições de probabilidade geradas pela cronometragem dos tempos de processo de cada tipo de tubo.

Além da modelagem das atividades principais, foram calculados e coletados valores de *lead time*, produtividade (tempo/peça), utilização de recursos e estoques. Ao final de cada dia, ou seja, 1440 minutos de modelo rodando, são armazenados esses indicadores de maneira individual, para cada tipo de tubo. Cada rodada contempla trinta dias, de modo que seja possível simular quebras da CNC durante o período simulado. A avaliação dos estoques é realizada com base no estoque médio diário gerado na simulação. A abordagem foi utilizada para eliminar efeitos de correlação entre os dados coletados em dias sucessivos. Além disso, não se está avaliando o risco de desabastecimento, visto que em caso de parada prolongada da célula, sua produção é coberta pela unidade da empresa situada na região sudeste do país.

### 3.2.1 Cenário Alternativo

A partir do cenário base, foi modelado o cenário alternativo, com a aplicação do CONWIP e utilizando os mesmos recursos disponíveis no modelo inicial. A principal diferença entre o cenário base e o cenário alternativo é a lógica de produção, que passa de um sistema de produção empurrada para um sistema de produção puxada.

No cenário base, a programação da produção na Célula de Tubos era realizada a partir de um plano mestre de produção, onde havia três intervalos de tempo diários e em cada um desses intervalos era produzido um tipo de tubo. A proposta de CONWIP elimina o plano mestre de produção e tem por única restrição o tamanho de lote mínimo para cada produto. Para o Tubo de Entrada o lote mínimo é de 150 itens e para os Tubos Intermediário e Tubo Posterior, 188 itens. Essa restrição foi estabelecida em função da embalagem de matéria-prima, recebida na forma de amarrados. Sendo assim, a utilização de embalagens parciais geraria um transtorno, no tocante ao armazenamento dos *blanks* “avulsos”.

### 3.3 Análise e Discussão

Conforme especificado anteriormente, os dois cenários (cenário base e cenário alternativo) foram rodados representando, cada um, períodos de trinta dias de produção. Os dados dos indicadores de controle da simulação foram coletados diariamente, em termos de tempo

simulado. No entanto, foi considerado o valor médio diário para fins de comparação. Esta estratégia foi utilizada para eliminar o efeito da autocorrelação, de modo a garantir que os dados gerados fossem independentes. Foram realizadas trinta rodadas em cada modelo, representando novecentos dias produtivos. O número de rodadas foi estimado de acordo com as variabilidades do indicador estoque, com significância de 5% e erro absoluto inferior a três caixas, para mais ou para menos, na média de estoque.

Os resultados gerados pelo software *Micro Saint*, versão 3.1 *student*, foram analisados com auxílio do software SPSS, versão 16. Esse software é utilizado para análises estatísticas de dados, sendo um dos mais consagrados softwares para esse fim. O teste ANOVA (*Analysis of Variance*) apresenta o nível de significância para que as médias das variáveis nos diferentes cenários sejam detectadas como diferentes. Dessa forma, variáveis com valores inferiores ao nível de significância estabelecido no estudo (neste caso, 5%) apresentaram médias estatisticamente diferentes em pelo menos um dos diferentes cenários. Os valores de demanda nos dois cenários foram gerados pela mesma distribuição de probabilidade, conseqüentemente não alterando de maneira significativa as médias nos dois cenários.

As variáveis “Utilização CNC” e “Utilização IO/EF”, que representam equipamentos presentes na fabricação dos três tipos de tubos, apresentaram diferenças significativas entre os dois cenários. As diferenças podem ser explicadas pela alteração nos volumes de produção nos dois cenários, em função das diferentes políticas praticadas em cada um deles. No tocante à variável “Utilização TC”, não foi verificada diferença significativa entre as médias de utilização desse recurso. Uma das possíveis explicações para isso é o fato desse recurso ser utilizado em somente um único item produzido pela célula (Tubo de Entrada).

Em relação aos indicadores de *lead time*, ainda que para o Tubo de Entrada seja possível verificar diferença entre as médias nos dois cenários, era de se esperar que esse indicador, de maneira geral, permanecesse sem alterações significativas. O fluxo de peças dentro da célula foi igualmente unitário nos dois cenários analisados. Com isso, o estoque em processo não foi alterado, gerando pouco ou nenhum impacto sobre os valores de *lead time*.

Os indicadores de produtividade (tempo/peça), para os três tipos de tubos demonstram diferenças significativas entre as médias nos dois cenários. Uma provável explicação para esse fato é a alteração no ritmo de produção em função da melhor diluição das quebras do recurso CNC no cenário alternativo (CONWIP).

No tocante ao indicador de refugos, considerando que a quantidade de refugo gerada é dependente do número de quebras da máquina CNC e tendo em vista que as taxas de falha desse recurso permaneceram inalteradas nos dois cenários, era de se esperar que esse indicador seguisse o mesmo comportamento.

Os resultados de ociosidade da célula e utilização do operador, além do estoques dos três tipos de tubos revelaram, com erro menor que 5%, que as médias nos dois cenários são significativamente diferentes. No cenário de produção empurrada (cenário base) não há ociosidade da célula. Isso se deve ao fato do operador estar sempre produzindo, independente de existir ou não demanda para os itens. Entretanto, especial atenção deve ser dada ao cenário alternativo (CONWIP). Em média, a célula de produção ficou ociosa trinta minutos por dia, elucidando que a produção puxada otimiza o tempo de utilização da Célula de Tubos. Esse tempo de inatividade poderia ser direcionado a outras atividades, até mesmo fora da Célula de Tubos. Ou poderia representar um acréscimo de produtividade de cerca de seis conjuntos (Tubo de Entrada + Tubo Intermediário + Tubo Posterior) por dia, o que, considerado um cenário de elevação de demanda, indicaria uma capacidade potencial adicional de 137

conjuntos por mês. Tendo em vista que atualmente a célula aproxima-se do limite de sua capacidade, esse acréscimo seria significativo.

Em relação aos estoques médios dos três tubos, observou-se que para o Tubo Intermediário e Tubo Posterior a aplicação do COWIP não foi relevante. No entanto, os níveis de estoque médio diário do Tubo de Entrada ficaram aumentados em relação ao cenário base a partir da aplicação do CONWIP. O Tubo de Entrada é o que possui maior *lead time*. Dessa forma, a faixa de tempo do dia dedicada à sua produção, na lógica do cenário base, é maior. Considerando o comportamento de paradas por quebra da célula, o efeito dessas quebras sobre esse produto é maior, já que a probabilidade de uma quebra ocorrer enquanto o mesmo estiver sendo produzido é maior. A simulação mostrou que o CONWIP se faz mais eficaz no tocante à diluição dessas paradas sobre os três produtos. Esse fato é fruto da distribuição da produção dos três itens ao longo do dia.

#### 4. Comentários Finais

Considerando as questões levantadas pelo estudo de simulação, pode-se afirmar que a implantação de um CONWIP seria mais eficiente para o controle da produção da Célula de Tubos do que o sistema de produção empurrada atualmente praticado. O efeito das quebras da máquina CNC sobre os estoques foi consideravelmente menor com a utilização do CONWIP. Todavia, uma melhor política de manutenção do referido recurso seria de grande importância para o desempenho da célula em questão. Os custos envolvidos quando da necessidade de direcionar a produção dos tubos para a unidade da empresa situada no sudeste já justificam uma maior atenção sobre essa questão. Além disso, o risco de algum imprevisto nesse processo de contingência ocasionaria muitas contratuais por desabastecimento da montadora em valores substancialmente elevados.

Ressalta-se a importância em disponibilizar para a empresa estudada além de um modelo simulação de CONWIP para aplicação na situação atual, um modelo robusto que poderá ser utilizado ainda muitas vezes para experimentações de novos cenários.

A utilização da Simulação Computacional como ferramenta de avaliação de uma proposição de CONWIP vem ao encontro da busca de aplicação robusta da teoria em ambientes aplicados, ponderando os efeitos de um modelo teórico de CONWIP frente a uma realidade específica de uma empresa do ramo automotivo. Por meio dessa pesquisa foi possível avaliar o desempenho de um CONWIP, de maneira mais rápida e simples, se comparada à experimentação do CONWIP no sistema real. Essa é tida como uma das mais importantes características da utilização de Simulação Computacional em trabalhos envolvendo sistemas produtivos. Também se menciona os ganhos paralelos associados à modelagem do processo por meio da simulação, permitindo compreender e questionar políticas tácitas, utilizadas para a gestão do mesmo.

#### Referências

- ANTUNES, Junico et al. *Sistemas de produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta*. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- BUZACOTT, J. A.; SHANTHIKUMAR, J. G. *Stochastic Models of Manufacturing Systems*. Prentice-Hall, 1993.
- BONVIK, A. M.; GERSHWIN, S. B. *Beyond kanban: creating and analyzing lean shop floor control policies*. Manufacturing and Service Operations Management Conference, 1996.

- BONVIK, A.M.; COUCH, C.E., GERSHWIN, S.B.** *A comparison of production-line control mechanisms.* International Journal of Production Research, v.35, n.3, p.789–804, 1997.
- CAO, D.; CHEN, M.** *A mixed integer programming model for a two line CONWIP-based production and assembly system.* International Journal of Production Economics, v.95, p.317–326, 2005.
- FRAMINAN, J.M.; GONZALEZ, P.L.; RUIZ-USANO, R.** *The CONWIP production control system: Review and research issues.* Production Planning and Control, v.14, n.3, p.255–265, 2003.
- GHAMARI, Y. K.** *Analyzing Kanban and CONWIP controlled assembly systems.* Dissertação de mestrado para obtenção da titulação de mestre em Ciências de política e planejamento pela Universidade de Tsukuba, 2006.
- HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L.** *Factory Physics: foundations of manufacturing management.* 2. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.
- HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L.** *To pull or not to pull: What's the question.* Manufacturing e Service Operations Management, v.6, n.2, p. 133-148, 2004.
- HUANG, M.; WANG, D.; IP, W.H.** *Simulation study of CONWIP for a cold rolling plant.* International Journal of Production Economics, v.54, n.2, p. 257–266. 1998.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D.** *Simulation Modeling and Analysis.* 3th ed. [S.L.]: McGraw-Hill, 2000.
- LIBEROPOULOS, G.; DALLERY, Y.** *Base stock versus WIP cap in single-stage make-to-stock production-inventory systems.* IIE Transactions, v.34,n.7,p.627-636, 2002.
- MOURA, R. A.** *Kanban : a simplicidade do controle da produção.* São Paulo: IMAN, 1989.
- MUCKSTADT, J.A.; TAYUR, S.R.** *A comparison of alternative Kanban control mechanisms. II. Experimental results.* IIE Transactions. v.27, p.151–161, 1995.
- OHNO, T.** *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala.* Tradução de Cristina Schumacher. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- OVALLE, O. R.; MARQUEZ, A. C.** *Exploring the utilization of a CONWIP system for supply chain management. A comparison with fully integrated supply chains.* International Journal of Production Economics, v.83, p.195-215. 2003.
- PETTERSEN, J.; SEGERSTEDT, A.** *Restricted work-in-process: A study of differences between Kanban and CONWIP.* International Journal of Production Economics, v.118, p.119-207, 2009.
- PIDD, M.** *Modelagem Empresarial: Ferramentas para tomada de decisão.* Tradução de Gustavo Severo de Borba et al. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- SHINGO, S.** *O Sistema Toyota de Produção - do ponto de vista da Engenharia de Produção.* Tradução de Eduardo Schaan. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SPEARMAN, M. L.; WOODRUFF, D. L.; HOPP, W. J.** *CONWIP: A pull alternative to Kanban.* International Journal of Production Research, v.23, p. 879–894, 1990.
- SPEARMAN, M. L.; ZAZANIS, M. A.** *Push and pull production systems: issue and comparison.* Operations Research, v.40, n.3, p.521–532, 1992.
- SURI, R.** *Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Leadtimes.* Productivity Press, 1998.
- TAKAHASHI, K.; MYREHKA; HIROTANI, D.** *Comparing CONWIP, synchronized CONWIP, and Kanban in complex supply chains.* International Journal of Production Economics, v.93–94, p.25–40, 2005.
- YANG, K.** *Managing a flow line with single-kanban, dual-kanban or CONWIP.* Production and Operations Management, v.9, n.4, p. 349–366, 2000.