

# ESTRUTURAÇÃO DE SISTEMA KANBAN DE PRODUÇÃO A PARTIR DE UM ESTUDO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

**Débora Oliveira da Silva (UNISINOS)**  
osdebora@yahoo.com.br

**Guilherme Luís Roehé Vaccaro (UNISINOS)**  
guilhermev@unisinós.br

**Rodrigo Costa de Souza Lima (UNISINOS)**  
rodrigocslima@gmail.com

**Debora Costa de Azevedo (UFRGS)**  
deboraazevedo@terra.com.br



*A crescente competitividade no meio industrial faz com que as organizações busquem cada vez mais precisão em suas escolhas. A nova lógica econômica, na qual o aumento dos lucros só é alcançado pela redução dos custos (SHINGO, 1996), faz com que as empresas busquem incansavelmente melhorias em seus processos, de modo a identificar e eliminar suas fontes de perdas. Sendo assim, as decisões devem ser profundamente analisadas de modo a garantir o ganho com sua implantação. Esse trabalho buscou avaliar o desempenho um Sistema Kanban de produção utilizando Simulação Computacional. O objeto de estudo foi uma célula de manufatura de uma indústria de autopeças fornecedora de uma grande montadora de veículos. Nesse sentido, foi empregado o método de trabalho proposto por Law e Kelton (2000) para estudos de simulação. A célula de manufatura em questão atualmente opera baseada em um plano mestre de produção, em um sistema de produção empurrada. Essa célula produz três tipos de tubos que serão posteriormente utilizados pela linha de montagem na confecção do produto final entregue à montadora. Com intuito de melhorar a lógica de produção e alinhar a Célula de Tubos aos conceitos do Sistema Toyota de Produção, foi proposto utilizar o sistema de produção puxada, através de um Sistema Kanban de Produção. Esse sistema foi avaliado a partir de três cenários, utilizando-se para tanto Simulação Computacional. Após modelar e rodar os diferentes cenários no software Micro Saint, os dados foram analisados no software de análises estatísticas SPSS. A partir dessas análises foi possível constatar que a utilização de um Sistema Kanban de Produção se mostrou mais eficiente para o desempenho da célula frente ao sistema de produção empurrada atualmente utilizado.*

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

## 1. Introdução

O movimento pela otimização de processos produtivos por parte das empresas, com vistas ao aumento da lucratividade como consequência da redução de custos de produção, se faz cada vez mais presente no contexto de acirrada competitividade iniciado após o movimento de globalização da década de 1990. Todavia, decisões equivocadas na busca de incremento de eficiência podem acarretar prejuízos consideráveis. Nesse sentido, a tomada de decisão sobre aplicar ou não determinada ferramenta de gestão de produção, bem como, a certeza da melhoria resultante dessa aplicação, são dúvidas inerentes ao cotidiano dos gestores empresariais.

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. Um dos pilares do STP é o sistema de produção puxada *Just-in-time* (JIT), que significa não processar até que haja uma solicitação. Para operacionalizar esse sistema, Ohno (1997) criou o Sistema *Kanban*, que, em essência, se torna o nervo autonômico da linha de produção. Inspirada no funcionamento dos supermercados americanos, essa ferramenta traz para dentro da indústria uma maneira simples e eficaz de controlar o fluxo de materiais e a programação da produção, podendo abranger desde um único processo até toda a cadeia de fornecedores.

Desenvolver um Sistema *Kanban* completo, contudo, não é tarefa fácil. Existem várias aplicações diferentes para essa ferramenta, com diferentes formas de operacionalização. A decisão correta sobre a estrutura a ser utilizada para a implementação do sistema é peça chave no sucesso do mesmo.

Por outro lado, ter certeza de alguma decisão é algo difícil em ambientes industriais, dada sua complexidade de interrelações com outros domínios de informação. Com a acirrada competitividade no mundo dos negócios, um pequeno detalhe equivocado pode resultar em grandes prejuízos. É nesse contexto que a Pesquisa Operacional vem se fazendo cada vez mais importante. Com foco na análise de modelos para apoio à tomada de decisão, a Pesquisa Operacional é composta de áreas como Programação Matemática, Teoria das Filas e Simulação Computacional.

A Simulação Computacional visa à análise e tomada de decisão baseada em um modelo, que representa determinadas características de uma dada realidade que se deseja estudar. Em muitos casos, a análise sobre casos reais é inviável, seja por questões financeiras, temporais ou de risco extremo na operação do sistema. Dessa forma, a Simulação busca simplificar a realidade através de um modelo sobre o qual se possam fazer testes e observações que não sejam viáveis no universo real. Estudos de simulação são muito utilizados no mundo industrial para estudos de alteração de *layout*, adequações de processos frente às variações de demanda, redução de tempos de *setup*, estruturação de *Kanban* entre outros (PIDD, 1998; VACCARO, 1999). É nesse último tema que será contextualizado o estudo ora apresentado. A temática desse trabalho está focada na utilização de Simulação Computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão no processo de implementação de um Sistema *Kanban*. O universo desse estudo será uma indústria do ramo automotivo, mais precisamente uma fábrica de autopeças.

## 2. Metodologia

Esse estudo tem aspectos de pesquisa exploratória que, conforme Gil (1999), é caracterizada pela busca e familiarização com o fato ou fenômeno em estudo. Em vista disso, está baseado

em levantamento bibliográfico, levantamento documental, entrevistas em campo e construção de modelos de simulação. Os elementos de pesquisa utilizados foram: pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa experimental e levantamento.

Para direcionar a condução da pesquisa, foi utilizado o método proposto por Law e Kelton (2000) para estudos de simulação. O método compreende as etapas de formulação do problema e planejamento do estudo; coleta de dados e definição do problema; validação; construção do modelo computacional e verificação; execução de rodadas piloto; validação; planejamento de experimentos; execução de rodadas de produção; análise dos dados de saída; documentação, apresentação e uso dos resultados.

### 3. *Kanban*

O *Kanban* é uma ferramenta prática da manufatura JIT e representa um sistema logístico de puxar, utilizado para o controle da produção e a movimentação do material em processo. Sua operacionalização é realizada pelos empregados da linha de produção, que possuem a visibilidade das necessidades imediatas no chão-de-fábrica da fábrica. 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).

Uma maneira usual de operacionalizar o Sistema *Kanban* é através de cartões. No entanto, estes não são obrigatórios, pois o importante nesse sistema é a pronta transmissão e reação a um sinal de “puxar”. Podem ser utilizadas bandeiras, luzes, a própria embalagem e tantas outras opções. Deve-se buscar o meio de transmissão de informações que mais se adapte aos processos em questão.

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 e 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.

A quantidade de itens em estoque é determinada pela multiplicação entre o número de cartões e a quantidade de itens em cada embalagem padrão. Para determinar o número total de *Kanbans*, Moura (1989) propõe o seguinte cálculo (Quadro 1):

$N = D \cdot L \cdot (1 + \alpha)$
Onde:
N – número de <i>Kanbans</i>
D – demanda média diária, expressa em embalagens (demanda média/capacidade da embalagem)
L – Lead time, ou seja, tempo em frações de um dia necessário para repor uma embalagem desse item, considerando todos os tempos (setup, operação, espera, etc.)
$\alpha$ – fator de segurança (determinado pelo supervisor da fábrica para tratar da variação e das anomalias estocásticas)

Quadro 1 - Cálculo do número de *Kanbans*

A demanda média diária deve ser determinada pela quantidade nivelada por dia, derivada de uma quantidade de demanda mensal. Quando a demanda mensal é alterada, o número total de *Kanban* por mês também é alterado. O número de cartões e a quantidade representada por

cartão estão diretamente relacionados com a velocidade de consumo na linha de montagem e o tempo de reposição necessário para o ressurgimento dos lotes.

Acerca da expressão de cálculo de *Kanban*, Shingo (1996) enfatiza a importância de ações para o aperfeiçoamento do sistema, a fim de minimizar o número “N”:

- executar a produção em lotes extremamente pequenos e minimizar o tamanho de cada lote de produção através da redução dos tempos de *setup*;
- utilizar estas medidas para reduzir os tempos de atravessamento ao mínimo;
- eliminar os estoques mínimos ( $\alpha$ ) que são mantidos como segurança contra instabilidade na produção.

Além disso, as estimativas de número de *Kanban* tradicionalmente pressupõem sistemas estáveis, nos quais os efeitos de variabilidade do sistema podem ser desprezados. Isso, no entanto, não é a realidade de muitos ambientes industriais. Nesse sentido, a Simulação Computacional pode ser utilizada como meio para qualificar as decisões associadas à determinação de número de *Kanban*.

Alguns trabalhos utilizando Simulação Computacional e Sistema *Kanban* podem ser encontrados na literatura, como o estudo de Abdou & Dutta *apud* Coelho (2003), que utiliza simulação para solucionar problemas de seqüenciamento multiponto e com múltiplos estágios produtivos, com o objetivo de determinar para cada item o número ótimo de *Kanbans*, a capacidade ótima dos contêineres e o intervalo de tempo ótimo entre chegadas do componente no posto de serviço. Mitra & Mitrani *apud* Coelho (2003), utilizaram simulação, integrado com teoria das filas, visando determinar o número máximo de *Kanbans* que podem ser alocados em uma dada célula, com intuito de maximizar a taxa de produção da referida célula.

#### **4. 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 e 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.

#### **5. Ambientação 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 país. 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”.

A empresa Alfa trabalha dentro dos princípios da manufatura enxuta, utilizando diversas ferramentas de qualidade e monitoramento em seus processos. Tem implementado sistema

5S's (cinco sentidos) e TPM (*Total Productive Maintenance*). Possui certificação ISO TS, ISO 14001, além de outros reconhecimentos de excelência por parte da montadora.

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.

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.

### **5.1 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, sendo somente 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.

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.

## 6. Cálculo do Número de *Kanbans*

Atualmente, a Célula de Tubos produz a partir de um plano mestre de produção. Como frequentemente ocorrem paradas da célula, freqüentes também são as necessidades de reprogramação. Para manter os estoques nivelados, respeitando os níveis de estoque de segurança de cada item, são feitos ajustes na programação, o que coloca o Coordenador de Produção em constante envolvimento com essa atividade.

A partir dessas informações, verificou-se que a implantação de um Sistema *Kanban* de Produção na Célula de Tubos poderia contribuir para atenuar esse problema, de modo a conferir maior autonomia à célula e simplificar a programação da produção, principalmente em casos adversos.

De acordo com o referencial, o número de *Kanbans* deve ser determinado conforme Quadro 1 apresentado anteriormente. No entanto, além das variações diárias de demanda que giram em torno de 5%, é necessário dimensionar também o estoque de segurança de 5 dias, conforme exposto no item 5.1. Sendo assim, o número de “N” deverá ser multiplicado por 6, ou seja, 1 dia de produção mais 5 dias de estoque de segurança. Dessa forma, tem-se a estimativa apresentada na Tabela 1:

Tabela 1 - Cálculo n° de *Kanbans*

Item	Demanda Diária (un)	Capacidade da Embalagem (un)	D (un)	Lead Time (h)	$\alpha$	N	N° de <i>Kanbans</i> (estoque mínimo + estoque segurança)
Tubo de Entrada	800	300	2,6667	0,1377	5%	0,3856	3
Tubo Intermediário	800	564	1,4184	0,1503	5%	0,2238	2
Tubo posterior	800	188	4,2553	0,0823	5%	0,3677	3

Dessa forma, estar-se-ia considerando dentro do cálculo de *Kanban* o estoque de segurança estipulado pelos gestores para proteção contra possíveis quebras de máquina ou qualquer outro fator que impeça a célula de atender suas demandas. Com isso, haverá tempo hábil para produção e remessa dos itens da unidade do Sudeste, diminuindo significativamente o risco de desabastecer a linha de montagem e, conseqüentemente, a montadora.

## 6. 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, utilizando 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.

Na Figura 1 são apresentadas as atividades que compõem a modelagem realizada para a célula sob estudo. O ponto de partida 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%.

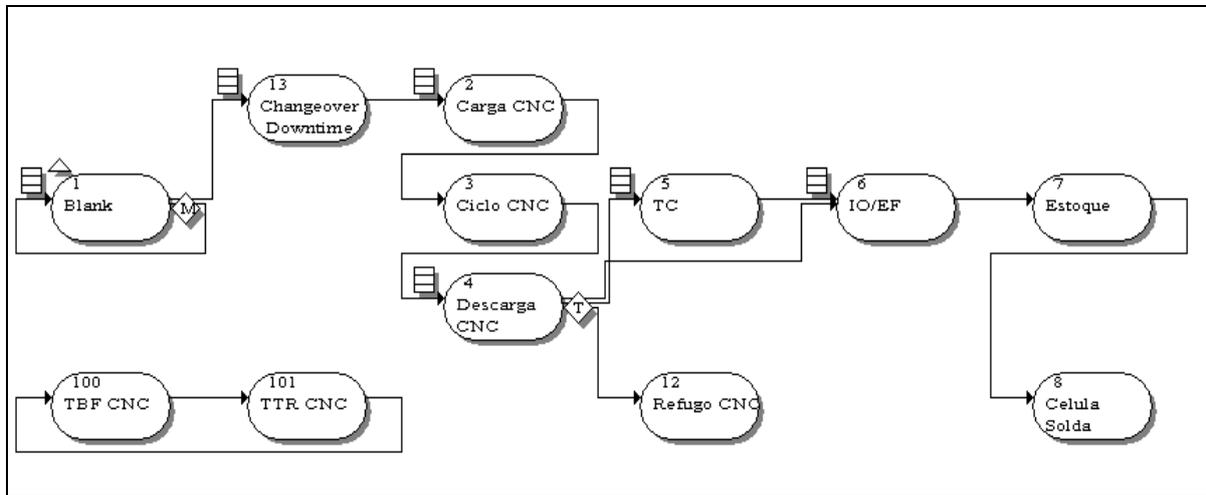


Figura 1 - Rede atividades Cenário Base

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 tempos 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;
- refugio 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*, *takt-time*, 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.

### 6.1 Primeiro Cenário

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

No modelo inicial, 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 *Kanban* elimina o plano mestre de produção e tem por única restrição o tamanho de lote mínimo para cada produto, conforme Tabela 2. 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”.

Tabela 2 - Lote mínimo *Kanban*

Item	Embalagem <i>Blanks</i> (un)	Lote mínimo para <i>Kanban</i>
Tubo de Entrada	150	150
Tubo Intermediário	188	188
Tubo Posterior	188	188

### 6.2 Segundo Cenário

A partir de análises preliminares sobre o cenário base e primeiro cenário, constatou-se a baixa utilização do recurso operador, em número de dois. A partir disso, decidiu-se avaliar o comportamento do sistema com somente um operador. Utilizou-se como base o modelo do primeiro cenário para a modelagem do segundo cenário. Nesse, foi alterado o número de operadores disponíveis na referida célula, passando de dois para somente um.

Em função dessa alteração, foi necessário realizar ajustes complementares. Conforme descrito anteriormente, o modelo base e o primeiro modelo possuem uma atividade para representar as distribuições de probabilidade provenientes do histórico de *downtimes* e *setups* do sistema. O comportamento do sistema em relação aos *downtimes* é mais difícil de prever quando considerado dois operadores, já que as paradas da célula por falta de operador são minimizadas com a realização de revezamentos entre os dois operadores, mas não há regra explícita de quando ou como esse revezamento deve acontecer.

Quando a célula passa a ser operada por um único operador, as paradas deixam de ser aleatórias, devendo ser realizadas diariamente (refeição, reuniões diárias, ginástica laboral,

limpeza, organização e *check-list* TPM da célula realizados pelo operador). O tempo total de paradas programadas do operador por dia totaliza 315 min.

Para modelar os *downtimes*, primeiramente excluiu-se a distribuição de probabilidade que representava os *downtimes* da célula com dois operadores. Após, subtraiu-se do número de minutos disponíveis diários o somatório dos *downtimes* da célula com um operador. Assim, um dia de produção na Célula de Tubos passou a conter 1125 minutos úteis, coerente com o especificado na empresa.

## 7. Análise e Discussão

Conforme especificado anteriormente, os três cenários 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 três cenários foram gerados pela mesma distribuição de probabilidade, conseqüentemente não alterando de maneira significativa as médias nos três 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 três cenários. As diferenças podem ser explicadas pela alteração nos volumes de produção nos diferentes 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 essa ser a única variável dentre as três máquinas que não sofreu alteração pode ser a de que esse recurso é utilizado em somente um único item produzido pela célula.

Em relação aos indicadores de *lead time*, ainda que para o Tubo de Entrada seja possível verificar diferença entre as médias nos diferentes cenários, era de se esperar que esse indicador, de maneira geral, permanecesse sem alterações significativas para os três cenários. O fluxo de peças dentro da célula foi igualmente unitário nos três 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 *takt-time*, para os três tipos de tubos demonstram diferenças significativas entre as médias nos três cenários. Uma provável explicação para esse fato é a alteração no ritmo de produção em função da melhor diluição das quebras do recurso CNC nos modelos com *Kanban*.

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 três 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 três cenários são significativamente diferentes.

No cenário de produção empurrada com dois operadores (cenário base) e produção puxada com um operador (segundo cenário), não há ociosidade da célula. No cenário base isso se deve ao fato do operador estar sempre produzindo, independente de existir ou não demanda para os produtos. Quando utilizado um único operador em sistema de produção puxada, ou seja, com *Kanban*, igualmente não há ociosidade, pois com um único operador não há tempo suficiente para o atendimento das demandas rotineiras, conforme atualmente previsto no plano de trabalho da célula.

Entretanto, especial atenção deve ser dada ao primeiro cenário (*Kanban* com dois operadores). 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 bastante significativo.

Em relação aos estoques médios dos três tubos, observou-se que para o Tubo Intermediário e Tubo Posterior a aplicação do *Kanban* não foi relevante. No entanto, os níveis de estoque médio diário do Tubo de Entrada ficaram aumentados em relação ao modelo inicial a partir da aplicação do *Kanban*. 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 modelo 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 *Kanban* 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.

A proposição feita no terceiro cenário, de utilizar somente um operador na célula não se mostrou eficaz, pois o estoque médio diário dos tubos não atinge às metas estabelecidas. Mantida a Eficiência Operacional da célula nos padrões vigentes, a principal explicação para essa situação é a política de *downtimes*. Ao todo são 315 minutos por dia sem atividade produtiva na célula, impactando de forma negativa nos estoques. Funcionando com dois operadores, a célula trabalha em regime de revezamento para algumas paradas programadas. Quando com dois operadores, a célula necessariamente não precisaria efetuar nenhuma parada programada, visto que poderia sempre haver revezamento entre eles. Por políticas da empresa, algumas paradas programadas continuam sendo efetuadas, mas de maneira eventual. Dentre elas podem-se citar reuniões de produção, ginástica laboral e alguns treinamentos. Em média são 95 minutos por dia de parada da célula quando a mesma opera com dois colaboradores. Atualmente a célula tem capacidade de atender as demandas impostas pela linha de montagem. Esse fato só é alterado quando ocorrem paradas não programadas que impedem a Célula de Tubos de trabalhar, como quebras de máquina. Dessa forma, os gestores determinaram que quando a célula está com os níveis de estoque dos três itens dentro das quantidades alvo, pode haver paradas da célula em função dos *downtimes* programados. Em contrapartida, quando a mesma está operando em regime de recuperação de estoques, não

devem ocorrer paradas programadas. Até mesmo é possível trabalhar em regime de horas extras em sábados e domingos quando de extrema necessidade.

A decisão por trabalhar com dois operadores na Célula de Tubos partiu das ações de um *Kaizen* realizado na referida célula. O principal objetivo com essa condição é reduzir os tempos de *setup* e eliminar as paradas programadas. Os tempos de *setup* sofreram significativa redução após serem realizados com dois operadores. No entanto, as paradas programadas ainda continuam sendo feitas porque a célula ainda não atingiu seu limite de produção. Assim que houver necessidade, todas as paradas programadas da célula serão em regime de revezamento.

O segundo operador é imprescindível na célula nos momentos de *setups* e paradas programadas, para fins de revezamento. Após essas atividades, o mesmo passa a auxiliar o outro operador visando agilizar o processo fabril. Considerando que o *takt-time* é basicamente imposto pela Curvadeira CNC, a utilização do segundo operador pouco influencia na quantidade de itens produzidos.

No entanto, mesmo constatando que um único operador não atenderia as demandas impostas à célula, a utilização de dois operadores pode ser discutida. O percentual de utilização dessa mão-de-obra não ultrapassa 20% quando em duplicidade. Dessa forma, cabe analisar com mais detalhes a otimização desse recurso. Nesse sentido, seria interessante avaliar o direcionamento do segundo operador, nos períodos em que o mesmo não executa atividades de revezamento ou *setup*, para outras atividades dentro da fábrica.

## 8. Comentários Finais

Considerando as questões levantadas pelo estudo de simulação, pode-se afirmar que a implantação de um Sistema *Kanban* de Produção seria mais eficiente para o controle da produção da Célula de Tubos do que o sistema de produção empurrada atualmente praticado. Foram levantadas questões importantes como a grande ociosidade verificada nos modelos com dois operadores, no entanto, compreendido que para o atendimento da demanda um único operador não seria eficaz. Com isso ressalta-se a importância da contextualização das problemáticas para o melhor direcionamento das sugestões de melhoria.

O efeito das quebras da máquina CNC sobre os estoques foi consideravelmente menor com a utilização do Sistema *Kanban*. 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.

Os resultados do cálculo do número de *Kanbans* foram coerentes com a realidade da empresa e com os resultados da simulação, dessa forma, passíveis de operacionalização imediata. Em função do tamanho das embalagens e disposição das mesmas no estoque de componentes, sugere-se a utilização das embalagens como sinalizadores do *Kanbans*. A utilização das cores verde, amarelo e vermelho para pintura das embalagens metálicas poderia determinar os níveis de estoque em cada componente.

Por último, ressalta-se a importância em disponibilizar para a empresa estudada além de um modelo simulação de *Kanban* 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 Sistema *Kanban* vem ao encontro da busca de aplicação robusta da teoria em ambientes aplicados, ponderando os efeitos de um modelo teórico de Sistema *Kanban* frente a uma realidade específica de uma empresa do ramo automotivo. Por meio dessa pesquisa foi

possível avaliar o desempenho de um Sistema *Kanban*, de maneira mais rápida e simples, se comparada à experimentação do *Kanban* no sistema real. Essa é tida como uma das mais importantes características da utilização de Simulação Computacional em trabalhos envolvendo sistemas produtivos. Também mencionam-se os ganhos paralelos associados à modelagem do processo por meio da simulação, permitindo compreender e questionar políticas tácitas, utilizadas para a gestão do mesmo.

A busca por assertividade e eficiência produtiva tem no *Kanban* e na Simulação Computacional ferramentas de grande valia. O acoplamento dessas ferramentas torna-se um importante diferencial na busca pela otimização dos processos produtivos. A implantação do Sistema *Kanban* na Célula de Tubos é o primeiro passo para a disseminação do sistema por toda companhia. A partir da análise criteriosa do seu desempenho na célula em questão, serão tomadas ações a fim de melhorar o sistema e expandir sua abrangência.

Dessa forma, estudos utilizando simulação visando à aplicação do Sistema *Kanban* em outras partes da empresa seriam de grande importância. A maior vantagem nesse sentido seria realizar as inferências sobre um modelo teórico representativo da realidade do processo, resguardando o mesmo de perdas produtivas em função da má aplicação da ferramenta ou de paradas destinadas a testes no sistema real. Algumas atividades como o abastecimento da linha de montagem, a partir dos itens do estoque, poderiam ser otimizadas pela aplicação de um Sistema *Kanban*. Também a produção da linha de montagem a partir de um Sistema *Kanban*, poderia aprimorar o comportamento dos estoques de produtos acabados.

### Referências

**GIL, Antonio C.** *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 206p

**HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark L.** *Factory Physics: foundations of manufacturing management*. 2. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.

**LAW, Averill M.; KELTON, W. David.** *Simulation Modeling and Analysis*. 3th ed. [S.L.]: McGraw-Hill, 2000. 759p.

**MOURA, Reinaldo Aparecido.** *Kanban : a simplicidade do controle da produção*. São Paulo: IMAN, 1989. 230p.

**OHNO, Taiichi.** *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala*. Tradução de Cristina Schumacher. Porto Alegre: Bookman, 1997. 150p.

**PIDD, Michael.** *Modelagem Empresarial: Ferramentas para tomada de decisão*. Tradução de Gustavo Severo de Borba et al. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998. 279p.

**SHINGO, Shigeo.** *O Sistema Toyota de Produção - do ponto de vista da Engenharia de Produção*. Tradução de Eduardo Schaan. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 1996. 292p.

**VACCARO, Guilherme Luís. R.** *Modelagem e Análise de Dados em Simulação*. Exame de Qualificação (Doutorado). PPGC/UFRGS, Porto Alegre, 1999.