

Modelagem, simulação e otimização em sistemas puxados de manufatura

Bruno Lopes Mendes Torga (UNIFEI) brunotorga@yahoo.com.br
José Arnaldo Barra Montevechi (UNIFEI) montevechi@unifei.edu.br
Alexandre Ferreira de Pinho (UNIFEI) pinho@unifei.edu.br

Resumo: *Este artigo tem como objetivo explorar a simulação computacional na manufatura diferenciando os tipos de sistema de produção existentes e descrevendo sua aplicação em uma linha de produção puxada através de um estudo de caso. Objetiva-se também através da associação entre os conceitos de simulação e otimização minimizar o número de kanbans da linha produtiva objeto de estudo. Não existem muitas aplicações dessa ferramenta neste tipo de linha de manufatura e uma das vantagens desta aplicação é a possibilidade de se realizar experimentações e alcançar modelos que estejam em maior concordância com os conceitos do Just in Time, cujo sistema puxado é um dos principais fundamentos.*

Palavras-chave: *Simulação computacional; Simulação de sistemas puxados; Otimização de kanban.*

1. Introdução

Uma das maiores aplicações da simulação está na manufatura. Dentre os benefícios que a simulação pode trazer podemos destacar a necessidade e quantidade de maquinário ou funcionários extras, avaliação de desempenho e avaliação dos procedimentos operacionais. As medidas de desempenho mais utilizadas são peças produzidas, tempo de espera das peças para serem processadas, porcentagem de utilização dos funcionários e das máquinas (Law, 1999).

No entanto, a maioria dos casos na literatura abordam a simulação de sistemas de manufatura tradicionais (Law, 1999, Farahmand, 2000, Santoro e Moraes, 2000, Silva 2005). A utilização da simulação computacional para a análise de sistemas puxados de produção tem sido abordada por alguns autores (Lemos, 1999, Krishnappa, 1999, Coelho, 2003, Treadwell e Herrmann, 2005). Mas não com a mesma frequência com que os sistemas empurrados têm sido estudados.

Este artigo tem como objetivo explorar a simulação computacional na manufatura descrevendo sua aplicação em uma linha de produção puxada através de um estudo de caso realizado em uma empresa automobilística localizada no Sul de Minas Gerais. Sugerindo a associação dos fundamentos da simulação e otimização como forma de minimizar o número de *kanbans*, reduzindo também o estoque em processo e o inventário de material acabado da instituição.

Para atingir tal objetivo este trabalho está estruturado da seguinte forma: o tópico seguinte definirá a simulação computacional, o tópico 3 diferenciará os sistemas puxados e empurrados. O tópico 4 descreverá o sistema *kanban*, o tópico 5 exemplificará a simulação de sistemas puxados através de casos na literatura. Já, os tópicos 6 e 7 descreverão o estudo de caso e os passos efetuados na construção do modelo. O tópico 8 descreve a simulação associada a otimização e o tópico 9, finalmente realiza a conclusão do trabalho.

2. A simulação computacional em ambientes de manufatura

Simulação, segundo *Longman Dictionary of Contemporary English* (2003), é uma atividade ou situação que reproduz uma condição real, mas tem uma aparência realística,

sendo usada para testar qualquer coisa. Segundo Harrel *et al.* (2000) e Law e Kelton (1991), simulação é a imitação de um sistema real, modelado em computador, para avaliação e melhoria de seu desempenho. Ou seja, simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado onde se pode estudar o comportamento do mesmo, sob diversas condições, sem riscos físicos e/ou grandes custos envolvidos. Banks (2000) afirma que a simulação envolve a criação de uma história artificial da realidade e, com base nesta história artificial, são realizadas observações e inferências nas características de operação do sistema real representado. A figura 1 esquematiza este conceito da transformação da realidade em modelo e novamente dos resultados em realidade.

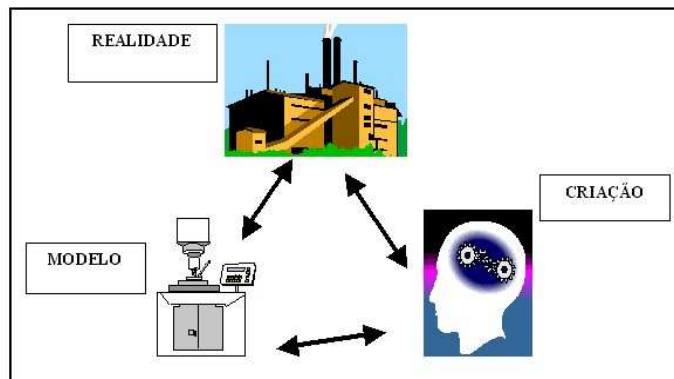


FIGURA 1 – Realidade x Modelo
Fonte: Duarte (2003)

A simulação não é uma ferramenta mágica que substitui o trabalho de interpretação humano, mas sim uma ferramenta poderosa, capaz de fornecer resultados para uma análise mais elaborada a respeito da dinâmica do sistema. Desta maneira, a simulação permite uma interpretação mais profunda e abrangente do sistema estudado (Duarte, 2003).

O'kane *et al.* (2000) afirmam que a simulação tem se tornado uma das técnicas mais populares para se analisar problemas complexos em ambientes da manufatura. Para Taveira (1997), a simulação é uma ferramenta muito útil, uma vez que prevê o comportamento de sistemas complexos, calculando os movimentos e interações dos componentes deste sistema.

Segundo Banks *et al.* (2005), a simulação é uma das ferramentas mais amplamente utilizada em sistemas de manufatura do que em qualquer outra área. Algumas razões podem ser enumeradas:

- a) O aumento da produtividade e qualidade na indústria é um resultado direto da automação. Como os sistemas de automação são cada vez mais complexos, estes só podem ser analisados pela simulação;
- b) Os custos de equipamentos e instalações são enormes;
- c) Os custos dos computadores estão cada vez mais baixos e mais rápidos;
- d) Melhorias nos softwares de simulação reduziram o tempo de desenvolvimento de modelos.
- e) A disponibilidade de animação resultou em maior compreensão e utilização dos gestores da manufatura.

O tópico a seguir aborda as principais diferenças entre os sistemas de produção puxado e empurrado.

3. Empurrando e Puxando a Produção

Segundo Moura (1999), os processos de produção com inúmeras etapas podem ser classificadas em dois tipos: sistemas de empurrar e sistemas de puxar. A maioria dos tradicionais sistemas de produção utiliza os sistemas de empurrar, no entanto, o sistema *kanban* utiliza o sistema de puxar a produção e o fluxo de materiais. A diferença básica é que o sistema *kanban* só reivindica e retira as unidades em processo da etapa anterior caso sua etapa seguinte também esteja consumindo itens.

Na produção empurrada, as peças estocadas em cada estágio são previstas, considerando o tempo e o fluxo total para a finalização do processo no estágio final. Na produção puxada existe um sistema onde certa quantidade de estoque é mantida em cada fase e cuja reposição é ordenada pelo processo seguinte, na proporção em que é consumida.

De acordo com Hutchins (1992), a principal vantagem do sistema empurrado é a previsibilidade da programação e carga das máquinas. Assim, torna-se possível fazer planos de *mix* de produção variados, utilizando a análise computacional e dados advindos da área de marketing, das previsões realizadas e de pesquisas de mercado. Já o sistema puxado, que depende menos de análises computacionais e mais da habilidade do sistema de responder às demandas repentinas e inesperadas. Esta é a principal vantagem do Sistema *Kanban*. Entretanto, a principal desvantagem é o risco de não atender a demanda inesperada.

Ambos os sistemas possuem vantagens e desvantagens, mas é preciso confrontá-los para decidir qual a melhor metodologia a ser utilizada. A tabela 1 compara as metodologias empurrar/puxar proporcionando um melhor entendimento em relação ao assunto:

TABELA 1: Empurrar versus Puxar

Sistemas	Empurrar: Prevêem a demanda de peças estocadas ou material em processo em cada estágio, considerando o tempo de fluxo até o estágio final. De posse do valor previsto, todos os múltiplos estágios são controlados, justificando os estoques de produtos finais e peça em cada processa.
	Puxar: Possui certa quantidade de estoque em cada estágio. Uma operação posterior pede e retira peças da operação anterior somente na proporção e na hora em que consome tais itens.
Problemas	<p>A maioria dos sistemas convencionais corresponde ao de empurrar. E quanto maior se torna o sistema, mais aparecem os seguintes problemas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quando ocorrem mudanças drásticas de demanda ou problemas na produção, torna-se impossível renovar os planos para cada processo. Além disso, é provável que tais dificuldades causem estoque em excesso ou mesmo inventário morto. • Torna-se impossível para os funcionários do controle de produção examinar todas as situações relativas ao índice de produção e ao nível de estoque. Assim, um plano de produção deve ter um estoque com excesso de segurança. • Melhorias relativas ao tamanho de lote e tempo de processamento podem não progredir, porque torna-se muito incômodo computar em detalhes os planos ótimos de produção.
Soluções	O sistema de puxar tem sido idealizado como um meio de resolver tais problemas. Deve-se obter melhoramentos constantes, de maneira simples e confiável, e repor os itens na medida em que a área posterior os consome.

Fonte: Moura (1999)

A maneira de puxar a produção faz do sistema *kanban* um sistema de autocontrole simples no nível de fábrica e independente de gestões paralelas e controles computacionais (Moura, 1999). O tópico a seguir será responsável pela descrição do sistema *kanban*.

4. O Sistema Kanban

Trata-se de um cartão ou etiqueta de pedido de trabalho, sujeito a circulação repetitiva na área. Diferente das ordens tradicionais de trabalho, o *kanban* sempre acompanha os

produtos facilitando o controle de estoques. É um método que reduz o tempo de espera, diminuindo o estoque, melhorando a produtividade e interligando todas as atividades da empresa em um fluxo constante e ininterrupto. O principal objetivo: transformação da matéria prima em produtos acabados, com tempos de espera iguais aos tempos de processamento, eliminando todo o tempo em fila do material e todo estoque ocioso (Moura, 1999).

O *Kanban*, como toda a ferramenta, apresenta claramente algumas limitações e desvantagens. O *Kanban* é intrinsecamente um sistema para a produção repetitiva, necessitando de uma programação nivelada, embalagens padronizadas, grande cooperação dos fornecedores e uma disciplina muito rígida. Tal aspecto pode ser considerado como inflexível, porque neste caso não pode responder facilmente as alterações irregulares ou inesperadas mudanças de mercado (Lemos, 1999).

Se bem implementado, existem muitas vantagens. As mais importantes são o aumento de produtividade, redução de estoques, redução de *lead-times* de produção, e em função do projeto do produto e do fluxo do sistema de produção permite a empresa responder as pequenas e previsíveis variações do mercado. O *Kanban* é um sistema simples de controle de fluxo com visível ênfase no controle de estoque e de fácil entendimento. Envolve pouco trabalho administrativo comparado com os outros sistemas, tal como o módulo de controle de chão de fábrica do sistema MRP (Lemos, 1999).

Dentro da perspectiva do processo, o *Kanban* enfatiza a tecnologia de processo, tal como produtos baseados na configuração do fluxo de produção, e pode, portanto, requerer consideráveis investimentos no desenvolvimento de novos métodos, procedimentos, roteiros e novos equipamentos. É dentro desse contexto que cabe a utilização da simulação. Como uma ferramenta capaz de proporcionar ao gestor um sistema produtivo com seu funcionamento cada vez mais próximo dos ideais enxutos do Sistema *Just in Time*.

O tópico seguinte abordará a simulação de sistemas puxados através de uma revisão bibliográfica.

5. A simulação de sistemas puxados de manufatura

Lemos (1999) realizou um estudo das características de aplicação do *Just in Time* no sistema de produção de uma empresa, principalmente no que se refere ao sistema *Kanban* no controle de materiais para o chão de fábrica no ambiente JIT; Além disso, estudou as abordagens desenvolvidas para ajuste do cálculo do sistema *Kanban* modelando um sistema *Kanban* baseado em um sistema de produção real utilizando o software ARENA da *System Modellings*. Dentre os resultados alcançados tem-se a redução dos tempos de *setup* no sistema produtivo da Empresa. Com a implantação da troca rápida de ferramenta obteve-se uma redução em torno de 100% no tamanho do lote, o que possibilitou a operação do sistema produtivo com um menor número de *kanban* em circulação. Esta redução depois de implementada proporciona a empresa a possibilidade de uma redução proporcional do espaço físico na fábrica.

Marek et al (2001) apresenta um tutorial para estudantes habituados às técnicas de simulação, mas não com os fundamentos dos sistemas puxados. Segundo o autor a literatura existente e mesmo os cursos abordando os dois conceitos de maneira conjunta é limitada e necessita de avanços que possam guiar futuros estudiosos do assunto.

Treadwell e Herrmann (2005) afirmam que existe grande complexidade em se construir modelos representativos de sistemas puxados como o *kanban* e descrevem formas diferentes de realizar a modelagem de forma que resultados sejam alcançados de maneira rápida. Os autores afirmam também que os softwares de simulação disponíveis no mercado, em especial o ARENA®, que é utilizado no experimento, possuem inúmeros módulos de sistemas de manufatura, capazes de ajudar os analistas na modelagem, como estações e

conveyors (esteiras transportadoras). Mas não possuem nenhum atributo em relação a sistemas de puxar a produção. Os experimentos realizados envolveram a modelagem do *kanban* como entidade, o que gerou grande complexidade em função de sua lógica e da representação conceitual e como recurso, que se mostrou mais simples em função do esforço e do tempo necessário à modelagem. Os resultados alcançados dizem respeito a criação de modelos mais rápidos e adaptáveis que correspondam a necessidade da empresa analisada de gerar resultados em espaços curtos de tempo.

Além da simulação, pode-se utilizar também os fundamentos de otimização diminuir o número de *kanbans* reduzindo estoques e como consequência um sistema de produção mais enxuto. Nakashima et al (2002) realizaram a simulação de um sistema puxado de produção otimizando a alocação dos *kanbans*, maximizando a produtividade e minimizando o bloqueio do maquinário. A associação entre os conceitos de simulação e otimização será alvo do tópico seguinte.

6. Simulação e Otimização

O uso da simulação proporciona a resolução de questões complexas sem os custos elevados das tentativas da vida real. Aliando-se a otimização a simulação pode-se assegurar que as soluções implementadas são ou estão próximas dos resultados ótimos (Pinto, 2001).

Para Fu (2002), a otimização deve ser encarada como uma ferramenta complementar à simulação. Fornecendo as variáveis de uma possível solução (*inputs*) à simulação, e esta ultima, fornecendo as respostas (*outputs*) para a situação proposta. A otimização gera novas variáveis, utilizando técnicas de otimização específicas, que serão novamente testadas pela simulação. Quando o método de otimização é baseado em Algoritmos Genéticos, para cada possível solução é efetuada uma tentativa, ou seja, um ciclo, até a sua parada, conforme figura 2:

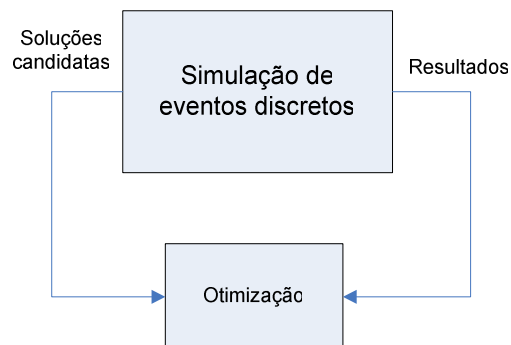


FIGURA 2: Simulação e otimização
Fonte: Fu (2002).

No próximo tópico será exemplificado através de um estudo de caso a simulação e otimização de um sistema puxado de manufatura.

6. Estudo de caso

Segundo Silva e Meneses (2005), um estudo de caso envolve a análise de um objeto de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento. A análise deste artigo ocorre em uma empresa do setor automobilístico produtora de componentes eletrônicos localizada no sul de Minas Gerais. Devido a questões de confidencialidade impostas pela

instituição, o nome da empresa e do produto analisado não serão informados, assim como informações específicas da linha produtiva que podem vir a identificar a instituição.

A linha de produção escolhida para a realização do estudo produz quatro famílias de peças, totalizando um total de 900 peças diárias. No entanto, para fins de pesquisa, foi escolhida uma família de produtos, referentes a produção de 500 unidades por dia. Tal escolha se justifica pelo fato desta família de peças englobar um número maior de processos que as outras famílias e também pelo fato de se encontrar na classificação A, no que diz respeito a classificação ABC de estoques, conforme figura 3 (Slack et al, 2002):

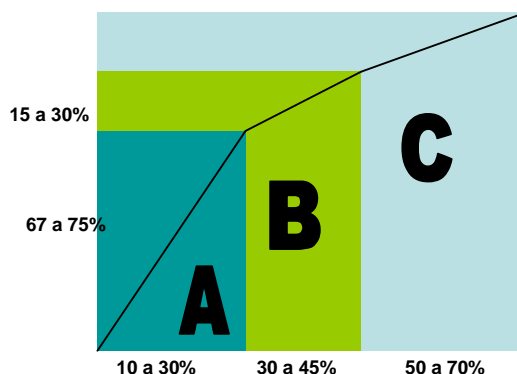


FIGURA 3: Estrutura ABC de estoques

Fonte: Slack (2002).

Ao longo do mês esse sistema produz sete tipos de peças, e as mesmas foram devidamente modeladas para que fosse possível chegar aos resultados pretendidos.

6.1. Descrição da linha de produção

Para a descrição das atividades na linha de produção escolhida foi utilizada a técnica do mapeamento de processo. Como justificativa da utilização de tal técnica pode-se citar o fato desta ser uma ferramenta gerencial analítica e de comunicação que tem a intenção de ajudar a melhorar os processos existentes ou de implantar uma nova estrutura voltada para eles. Além é claro, de ser uma excelente ferramenta para possibilitar o melhor entendimento dos processos atuais ou simplificar aqueles que necessitam de mudanças (Theisen, 2004).

É definido também como um auxílio visual na descrição das atividades relacionadas com as entradas, saídas e demais tarefas envolvidas nesse processo de conversão. O mapeamento proporciona aos gestores uma nova percepção de como o trabalho é realizado. Ressaltando os principais passos realizados para produzir um dado produto e onde os principais problemas estão ocorrendo. O mapeamento de processos evidencia as áreas onde uma mudança causaria grande impacto na melhoria da qualidade (Anjard, 1995). O mapeamento de processo da linha de produção foco do estudo é apresentado na figura 4:

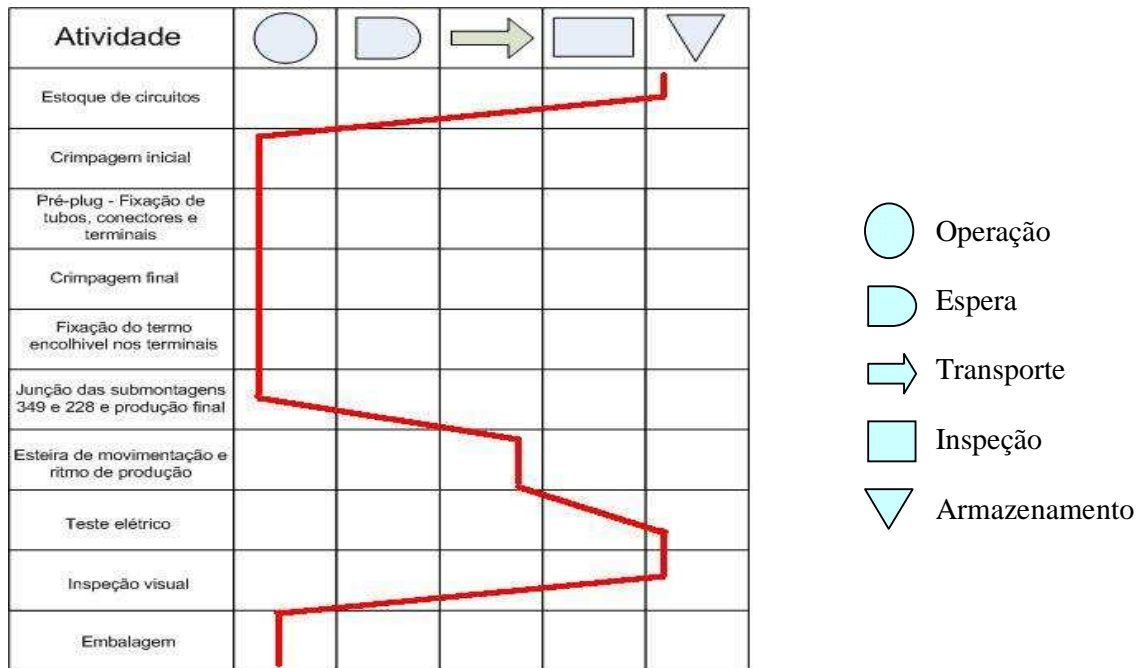


FIGURA 4: Mapeamento de processos

Após ter sua produção designada o primeiro operador retira do ponto de estocagem os componentes necessários e realiza a crimpagem inicial dos circuitos. Em seguida as peças seguem para as mesas de pré-plug onde recebem tubos, conectores e terminais. Em seguida seguem para a crimpagem final e logo após para a fixação do termo encolhível. Depois desta etapa passam a ser chamadas de submontagens e a montagem final é realizada. A esteira de movimentação envia cada peça para o teste elétrico, para a inspeção visual e por último, para a embalagem.

6.2. Dados utilizados

Após a realização de algumas visitas na organização foco de estudo e a realização do mapeamento de processos, a requisição de informações deve ser realizada. Esta etapa deve ocorrer após o mapeamento da linha, de forma que a maior parte das informações necessárias sejam identificadas e devidamente requisitadas.

A listagem das informações requeridas junto ao objeto de estudo para a construção dos modelos computacionais segue abaixo:

- Quantidade de peças produzidas;
- Demanda diária;
- Tamanho dos lotes;
- Número de operadores;
- Takt time;
- Tempos de *setup*;
- Número de máquinas e capacidades de produção;
- Lead times de produção;
- Gatilhos de produção;
- Tempo médio de estocagem em supermercados;

7. Desenvolvimento dos modelos

7.1. Descrição

A construção do modelo deve ocorrer de forma gradativa, ou seja, na medida em que novas características são adicionadas novos modelos são construídos (Banks, 1999). Para a implementação do modelo foi utilizado o Promodel 7.0, um software baseado em Windows, desenvolvido pela *Promodel Corporation*. E para a construção do modelo foi necessário definir: os locais, os recursos, as variáveis (globais e locais), as entidades, os atributos, as chegadas, as macros, os caminhos e o processamento. As características definidas e suas quantidades seguem abaixo:

- Entidades
 - 1 unidade representando os kanbans de produção de cada peça;
 - 1 unidade representando cada peça a ser processada pelo sistema;
- Locais
 - 2 Prensas;
 - 2 Pré-plug;
 - 1 Termo Encolhivel;
 - 1 Quadro Produção;
 - 1 Pallet de submontagens;
 - 8 Mesas de montagem;
 - 1 Esteira;
 - Inspeção;
 - 7 Caixa de produto acabado;
 - Expedição;
 - Estoque;
 - Cliente;
- Variáveis - 63 irão monitorar no quadro de nivelamento da produção e na expedição de produtos acabados os números de kanbans referentes aos sete produtos analisados na simulação.
- Processamento – O item processamento diz respeito ao caminho que as entidades deverão seguir e suas características. O funcionamento do modelo final deve ocorrer de acordo com a puxada do cliente que ocorre através da inserção da distribuição do histórico das necessidades semanais fornecidas pela organização objeto de estudo.
- Chegada – As peças devem ser enviadas ao cliente obedecendo à distribuição de probabilidades citada acima. Portanto a entrada de peças ocorrerá no cliente e o consumo de cada caixa iniciará a produção de uma outra de acordo com as prerrogativas da lógica construída. A figura 5 ilustra a representação gráfica do modelo:

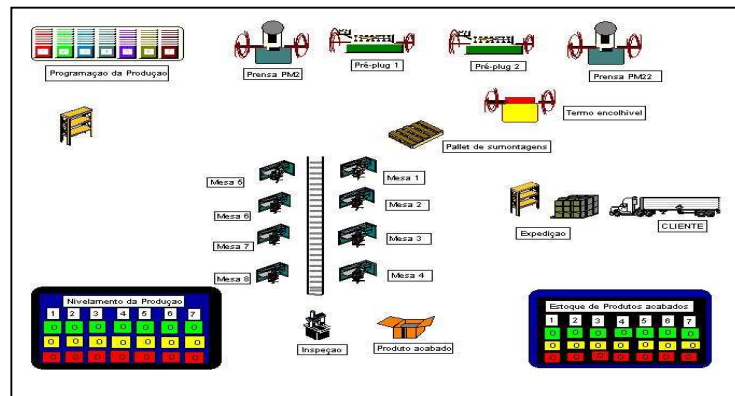


FIGURA 5: Representação do modelo construído

7.2. Validação e Verificação

Segundo Sargent (2004), existem inúmeras técnicas de validação, como técnicas estatísticas ou procedimentos matemáticos, testes de hipótese e intervalos de confiança. Algumas técnicas são: animação, comparação com outros modelos, testes degenerativos, validade do evento, condição extrema, validação por meio de dados históricos, validade interna, validação multi estágio, gráficos operacionais testes de duração entre outros.

No caso do modelo desenvolvido, a validação foi realizada através de dados históricos e através das quantidades produzidas diariamente.

8. Otimização dos kanbans

A utilização da otimização neste trabalho teve o intuito de otimizar o número de kanbans de cada peça, ou seja, minimizar as quantidades de cartões sem deixar de atender ao cliente e sem reduzir a produtividade do sistema produtivo foco do estudo. A tabela 2 ilustra o número de cartões de cada peça.

Dimensionamento do estoque							
Cor	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5	Peça 6	Peça 7
Verde	0	1	1	1	2	8	1
Amarelo	1	1	1	1	1	5	1
Vermelho	0	0	0	0	1	4	0

Tabela 2: Dimensionamento do estoque no almoxarifado de material acabado

Os cartões a serem otimizados foram os cartões verdes, que dizem respeito ao funcionamento normal da linha produtiva. No entanto, nota-se facilmente através da tabela 2 que as peças 5 e 6 possuem mais cartões que as demais. Por isso, a otimização foi aplicada a estas com o objetivo de minimizá-las e consequentemente reduzir os estoques de material acabado da empresa.

Os experimentos realizados pelo *SimRunner* foram aplicados primeiramente a peça 5, cujo valor original é de 2, e como resultado obteve uma redução de 1. Já a aplicação na peça 6 obteve uma redução mais considerável, a solução ótima reduziu os cartões de 8 para 5. Conforme figuras 6 e 7:

The best solution found:
cartao_verde_peca_5: 1
The best objective function value found:6121.

Figura 6: Solução – Peça 5

The best solution found:
cartao_verde_peca_6: 5
The best objective function value found:6117.

Figura 7: Solução – Peça 6

9. Conclusão

A vantagem de se utilizar a simulação para a modelagem de um sistema puxado é a possibilidade de se realizar experimentações e se alcançar modelos que estejam em maior concordância com os fundamentos do sistema *Just in Time*. Sendo assim, pode-se estabelecer cenários e simula-los realizando análises que só seriam possíveis na vida real mediante grande dispêndio de tempo e custo.

A descrição dos procedimentos de modelagem de um sistema puxado realizadas neste artigo busca auxiliar futuros trabalhos e servir como referência em futuras modelagens. Vale dizer que procedimentos como o mapeamento de processos realizados com o objetivo de descrever cada etapa da linha foco de estudo são imprescindíveis para o alcance do detalhamento necessário na modelagem e determinação dos dados a serem utilizados.

Já o uso da otimização pode ser decisiva, uma vez que o Promodel fornece um módulo de otimização, o *SinRunner*, que procura de maneira inteligente e eficaz a solução ótima para um dado problema tomando como base os resultados do modelo de simulação. A utilização dos dois fundamentos em conjunto e os resultados evidenciados por este trabalho confirmam a possibilidade de resultados que possam possibilitar as empresas sistemas mais enxutos, menos estoques e uma maior conformidade com os fundamentos do *just in time*.

10. Referências bibliográficas

- ANJARD R. P., **Process Mapping: One of three, new, special quality tools for management, quality and all other professionals**. Microelectron. Reliab., Vol. 36, 1995.
- BANKS J., **Introduction to Simulation**. Proceeding of the Winter conference, Atlanta, 1999.
- BANKS, J. **Introduction to simulation**. Proceedings of the Winter Simulation Conference. Atlanta, 2000.
- COELHO, R. M., **Implantação e simulação do sistema kanban de movimentação de material**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Itajubá, MG, UNIFEI, 2003.
- DUARTE, R. N. **Simulação computacional: Análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Itajubá, MG, UNIFEI, 2003.
- FARAHMAND K., **Using simulation to support implementation of flexible manufacturing cell**. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2000.
- FU, M. C., **Optimization for Simulation: Theory vs. Practice**. Journal on Computing, vol. 14, n 3, 2002.
- HUTCHINS D., **Just In Time**. Editora Atlas S.A., São Paulo, 1992.

JOHANSSON B., **Discrete Event Simulation – present situation and future potential**. Department of Product and Production Development, Chalmers University of Technology, Suécia, 2002.

KRISHNAPPA, A. R. **Simulation study of a kanban controlled production system**. Dissertação de mestrado, College of Engineering and Mineral Resources at West Virginia University, 1999.

LAW, M. A. MCCOMAS, M. G. **Simulation of Manufacturing Systems**. Proceedings of the Winter Simulation Conference. Tucson, 1999.

LEMOES, A. C. D. **Aplicação de uma Metodologia de Ajuste do Sistema Kanban em um Caso Real Utilizando a Simulação Computacional**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

Longman Dictionary of Contemporary English, 3ª Edição, Pearson Education do Brasil LTDA , 2003.

MAREK, R. P., ELKINS D. A., SMITH D. R., **Understanding the fundamentals of kanban and conwip pull systems using simulation**. Proceedings of the winter simulation conference, Texas, 2001.

MOURA, R. A., **KANBAN: A Simplicidade do Controle de Produção**. Instituto de Movimentação e Montagem de Materiais, IMAM, São Paulo, 1999.

NIELANDER, U., KOCHER, P., **Kanban optimization by simulation and evolution**. Department of Computer Science, Chemnitz University of Technology, 2000.

O'KANE, J.F. SPENCELEY, J.R. TAYLOR, R. **Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems**. Journal of Materials Processing Technology, 107, pp. 412-424, 2000.

PINTO, J., ORLANDO P. F. **Simulação e otimização; Desenvolvimento de uma ferramenta de análise de decisão para suprimento de refinarias de petróleo através de uma rede de oleodutos**. Dissertação de mestrado em engenharia de produção. UFSC, Florianópolis, SC, 2001.

SANTORO, M. C., MORAES L. H., **Simulação de uma linha de montagem de motores**. Revista Gestão & Produção, v.7, n.3, p.338-351, dez. 2000.

SARGENT, R. G., **Validation and Verification Of Simulation Models**. Proceedings of the Winter Simulation, 2004.

SHANNON, R. E., **Introduction to the art and science of simulation**. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1998.

SILVA, E. L. MENESES, E. M., **Metodologia de Pesquisa e Elaboração de Dissertação**, Florianópolis 2005.

SLACK N., CHAMBERS, S., HARRISON A., **Administração da Produção**. Editora Atlas, segunda edição, 2002.

TAVEIRA, R. A., **Uma metodologia para aperfeiçoamento da mudança para um sistema de produção Just-in-Time em uma indústria Metalúrgica, usando simulação discreta e técnicas de projeto de experimentos de Taguchi**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

THEISEN, R.M. , **Sistemática de análise e identificação de perdas operacionais em processos logísticos: um estudo de caso na empresa via LOG**, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

TREADWELL, M. A., HERRMANN J. W. **A kanban module for simulating pull production in Arena**. Proceedings of the winter simulation conference, Maryland, 2005..

ZHANG G. Z., et al **Allocating Kanbans for a Production System in a General Configuration With a New Control Strategy**. IEE Transactions on Systems, man, and cybernetics, vol. 32, no 3, maio de 2002.

