

# ANÁLISE DE CENÁRIOS DE PRODUÇÃO EM UMA FÁBRICA DE CADERNOS USANDO SIMULAÇÃO

**Luiz Ricardo Pinto**

UFMG

Escola de Engenharia / Campus Pampulha

[luiz@dep.ufmg.br](mailto:luiz@dep.ufmg.br)

**Irce Fernandes G. Guimarães**

UFMG

Escola de Engenharia / Campus Pampulha

[ircegui@ig.com.br](mailto:ircegui@ig.com.br)

**Lásara Fabrícia Rodrigues**

UFMG

Escola de Engenharia / Campus Pampulha

[lfpro@yahoo.com.br](mailto:lfpro@yahoo.com.br)

## Resumo

Este artigo apresenta uma aplicação de simulação computacional, no processo produtivo de uma empresa de cadernos de Ponte Nova, Minas Gerais, tendo como foco principal a simulação, seguindo uma metodologia de modelagem e validação. Utilizou-se para esta finalidade do software Arena 5.0 para a modelagem e simulação do problema. Este recurso possibilitou a análise do cenário atual e de possíveis sugestões de melhoria no sistema em estudo.

**Palavras-Chaves:** Simulação; Arena; Processo Produtivo.

## Abstract

This paper presents a practical application of computer simulation, in order to analyze the productive process in notebook factory located at Ponte Nova, Minas Gerais. The main focus of this paper is simulation, following a methodology of modeling and validation. The simulation software Arena 5.0 was used for modeling and simulation. This software allows current scenario analysis and other alternatives analysis to improve the system.

**Keywords:** Simulation, Arena, Productive Process.

## 1. Introdução

As mudanças que ocorreram nas últimas décadas obrigaram as empresas a reduzir gastos, gerenciar o conhecimento e flexibilizar os meios de produção e de serviços para sobreviver e crescer em um ambiente mais competitivo. Em consequência desses fatores, as empresas passaram a aplicar algumas técnicas de auxílio à tomada de decisão. Dentre estas, está a simulação.

Segundo O'Kane *et al.* (2000), os modelos de simulação passaram a ser uma das técnicas mais aplicadas a análises de sistemas industriais complexos. A simulação é o ato de imitar um procedimento real em menor tempo e com menor custo, permitindo melhor visualização do que vai acontecer e análise de possíveis mudanças que poderiam gerar grandes gastos.

Bertrand e Fransoo (2002) salientaram que apesar da qualidade científica dos resultados da simulação ser menor que a análise matemática, sua relevância científica é alta. A variedade de modelos científicos na qual uma simulação é capaz de trabalhar é maior que uma análise matemática.

A simulação pode ser aplicada em diversos tipos de sistemas, dentre estes podem ser citados: sistemas de produção, sistemas de transporte e estocagem, sistemas computacionais dentre outros.

Este trabalho propõe a aplicação da simulação no processo de produção de cadernos, analisando a taxa de ocupação dos recursos disponíveis, os gargalos do processo, o tempo de fila, a quantidade produzida, além de permitir a visualização dos resultados referentes a mudanças no sistema e suas análises.

O artigo está organizado como segue. Na seção 2, descreve-se a metodologia. Nas seções 3, faz-se uma breve descrição sobre simulação. A apresentação do estudo de caso é feita na seção 4. A seção 5 mostra como é gerado o modelo e as análises de cenários. A conclusão é apresentada na seção 6, enquanto que na seção 7 apresentam-se as referências.

## 2. Metodologia

Em atenção aos propósitos deste estudo, a metodologia utilizada nesta pesquisa foi o estudo de caso na empresa de cadernos BCR. Inicialmente foram obtidos os tempos relativos a cada atividade do processo. Esses dados foram ajustados para obtenção das distribuições de probabilidade que regem os processos, através da ferramenta *Input Analyzer* da RockWell Software. Utilizando-se dessas distribuições e de informações obtidas na empresa em estudo, o sistema foi simulado com a utilização do software ARENA 5.0. Este software é constituído de um ambiente gráfico integrado de simulação, que é constituído de recursos para modelagem por processos, animação, análise estatística e análise de resultados.

Segundo Filho (2001) esta forma de modelar é uma das formas mais intuitiva, pois através de suas rotinas o programa de computador imita o comportamento das entidades dentro do sistema, fazendo com que os processos ou atividades a elas designadas sejam cumpridos, ou seja, o programa acompanha cada entidade individualmente até que seu movimento dentro do sistema seja suspenso.

Goldbarg e Luna (2000) propõem uma metodologia para o processo de construção de modelos: definição do problema, formulação e construção do modelo inicial, validação do modelo, simulação do modelo, reformulação do modelo e aplicação do modelo.

O trabalho foi realizado através de pesquisa bibliográfica, entrevistas, visitas, observação de cada uma das atividades referente ao processo de fabricação de cadernos tipo Brochura-96 folhas e a simulação deste processo.

## 3. Simulação

Com a utilização do computador, os modelos matemáticos adquiriram solução mais rápida e fácil, levando ao aumento do uso de simulação computacional. Esta é uma ferramenta utilizada para analisar a performance de sistemas e o comportamento futuro de variáveis relevantes.

Segundo Pedgen et al., (1994), a simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos, objetivando o entendimento do seu comportamento e/ou avaliando estratégias para sua operação. De acordo com Pidd (1998),

um modelo é a representação externa explícita da realidade vista pelas pessoas que desejam usá-lo para entender, mudar, gerenciar e controlar aquela parte da realidade.

Durante a construção de modelos de Pesquisa Operacional, devem ser observados três temas constantes e inter-relacionados (WAGNER, 1986):

- Melhorias mensuráveis: otimização segundo critérios de restrição;
- Sensibilidade aos parâmetros: reflexo nos resultados com a variação nos parâmetros;
- Interação no sistema: orientação em direção a considerações de sistemas gerenciais.

Law & Kelton (1991) afirmam que as vantagens do uso da simulação são:

- Modelar sistemas complexos que tem elementos estocásticos que devem ser resolvidos e analisados pela simulação, visto que estes não poderiam ser descritos perfeitamente por modelos matemáticos resolvidos analiticamente;
- Fornecer um melhor controle sobre as condições experimentais do que seria possível no sistema real, pois podem ser feitas várias replicações no modelo fornecendo os valores para todos os parâmetros;
- Permitir a replicação precisa dos experimentos, possibilitando-se testar alternativas diferentes para o sistema;
- Permitir simular longos períodos em um tempo reduzido ou vice-versa;
- Evitar gastos desnecessários, em geral, é mais econômico que testar o sistema real.

Pinto (1999), descreve que uma das vantagens da simulação é a possibilidade de controlar a velocidade com que as alterações no estado do modelo processam. A essência da simulação é que trocas de estado do sistema são modeladas através do tempo.

Entretanto, Law & Kelton (1991) citam as seguintes desvantagens da simulação:

- Como os modelos de simulação são estocásticos, devem ser rodados várias vezes de forma a possibilitar a previsão da performance do sistema;
- A simulação é muito dependente da validade do modelo desenvolvido, ou seja, o estudo detalhado dos dados de saída e soluções para o problema não adianta se o modelo criado não é uma representação fiel do sistema ou se os dados de entrada não são corretos;
- Como a simulação não é uma técnica otimizante ela não fornece a solução ótima para a situação apresentada. Ela testa as alternativas, ou seja, é uma reação do sistema a uma determinada configuração estabelecida pelo usuário.

O uso da simulação contribui para a identificação de aspectos importantes do sistema estudado, auxiliando na explicação, compreensão e melhoria do mesmo, quantificando o comportamento observado e prevendo o comportamento futuro.

#### **4. Estudo de Caso: Empresa de Cadernos BCR -COMÉRCIO E INDÚSTRIA LTDA**

A Empresa de Cadernos BCR fabrica, no período de setembro a março (considerada a época de “pico”), aproximadamente 200 toneladas/mês de cadernos. Além de produzir cadernos escolares, também são confeccionados talões de pedidos, notas promissórias, cadernetas, blocos de notas e papel almaço.

O processo de produção da empresa é semi-automatizado, ou seja, parte das atividades é manual e parte é automatizada. Para a produção de caderno brochura, as atividades manuais são dobra de miolo e capa, empacotamento e intercalação. E, as automatizadas são: acerto de miolo, corte e grampo.

Para a produção de cadernos tipo brochura a empresa utiliza os seguintes recursos, a saber: vibradores (acerto de miolo), guilhotina, grampeadora, empacotadora, mesas e funcionários.

O processo de fabricação do caderno tipo Brochura-96 folhas, desta empresa, tem início a partir da chegada das capas e do miolo do caderno no processo de produção. Como o processo de fabricação das páginas do caderno é contínuo, pode haver erros de empilhamento. Assim, faz-se necessário levar as pilhas de folhas para serem acertadas pelo vibrador. Cada miolo e capa do caderno são dobrados separadamente e enviado para a fase seguinte, que é a intercalação de capa e miolo. Após esta fase, o miolo juntamente com a capa é enviado para ser cortado na guilhotina, produzindo-se quatro cadernos. Cada caderno é grampeado e repassado para o empacotamento. Depois de serem empacotados, os cadernos são colocados em uma caixa seguindo as especificações da empresa com relação ao número de pacotes por caixa.

Após serem embalados e encaixotados, os cadernos são enviados para o setor de estoque, ou de acordo com a demanda, são enviados diretamente ao cliente.

O fluxograma do processo é apresentado na figura 1.

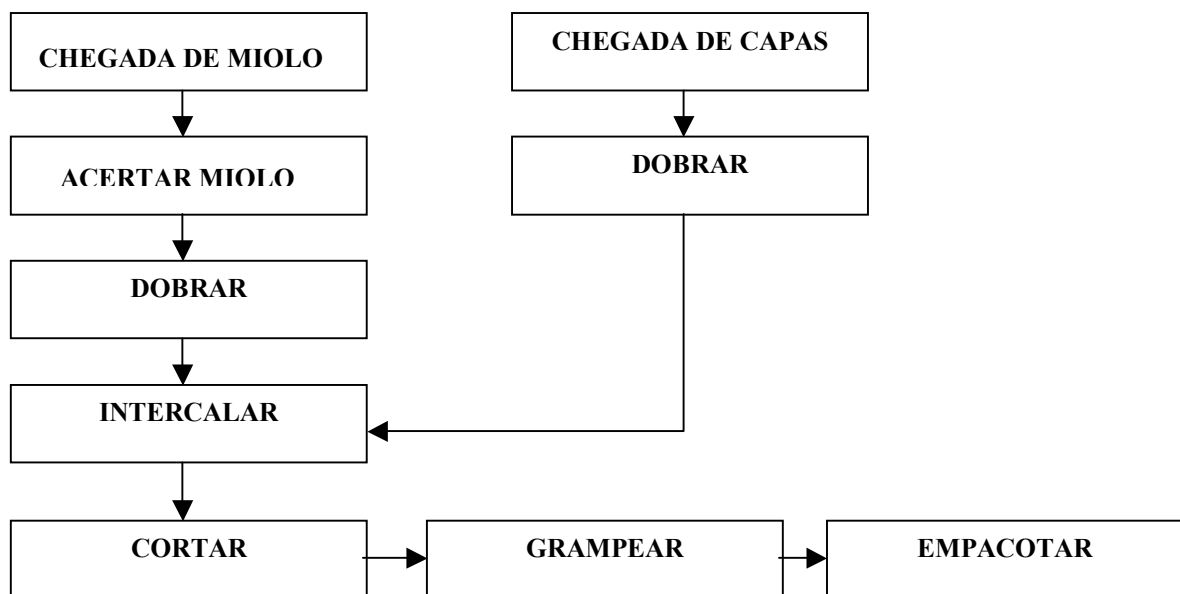


Figura 1: Fluxograma do processo de caderno tipo Brochura-96 folhas

## 5. Análise de Resultados

Para a construção do modelo, foram seguidas as etapas abaixo:

### a) Definição do Problema:

Este trabalho propõe a aplicação da simulação no processo de produção do caderno brochura 96 folhas, analisando a taxa de ocupação dos recursos disponíveis, os gargalos do processo, o tempo de fila, a quantidade produzida, além de permitir a análise de cenários alternativos de produção.

b) Formulação e construção do modelo inicial:

Para a formulação e construção do modelo inicial, observou-se cada etapa do processo produtivo da empresa, descrevendo cada atividade e orientando a coleta dos tempos de execução de cada uma delas, referente à parte do processo estudado. Os dados coletados foram ajustados através do *software Input Analyser*. As expressões obtidas para as distribuições de probabilidade estão mostradas no quadro 1. A representação diagramática do modelo no Arena está representada na figura 2.

Etapas da Produção	Expressões/Distribuições de Probabilidade
Chegada de Miolo	$1.73e+003 + 1.83e+003 * \text{Beta}(1.22, 1.69)$
Chegada de Capa	$137 + 1.66e+003 * \text{Beta}(6.54, 1.35)$
Acerto de Miolo	Normal(7.54, 1.94)
Dobra Miolo	$6 + 50 * \text{Beta}(0.75, 1.44)$
Dobra Capa	$3 + 15 * \text{Beta}(3.58, 7.66)$
Intercalar Miolo e Capa	$7 + 48 * \text{Beta}(1.06, 2.6)$
Corte	Triangular(4.6, 6.82, 16)
Grampear Caderno	Normal(11.6, 3.98)
Grampear Caderno	$5 + \text{Lognormal}(6.76, 4.79)$

Quadro 1 – Expressões/Distribuições de Probabilidade (dados em segundos)

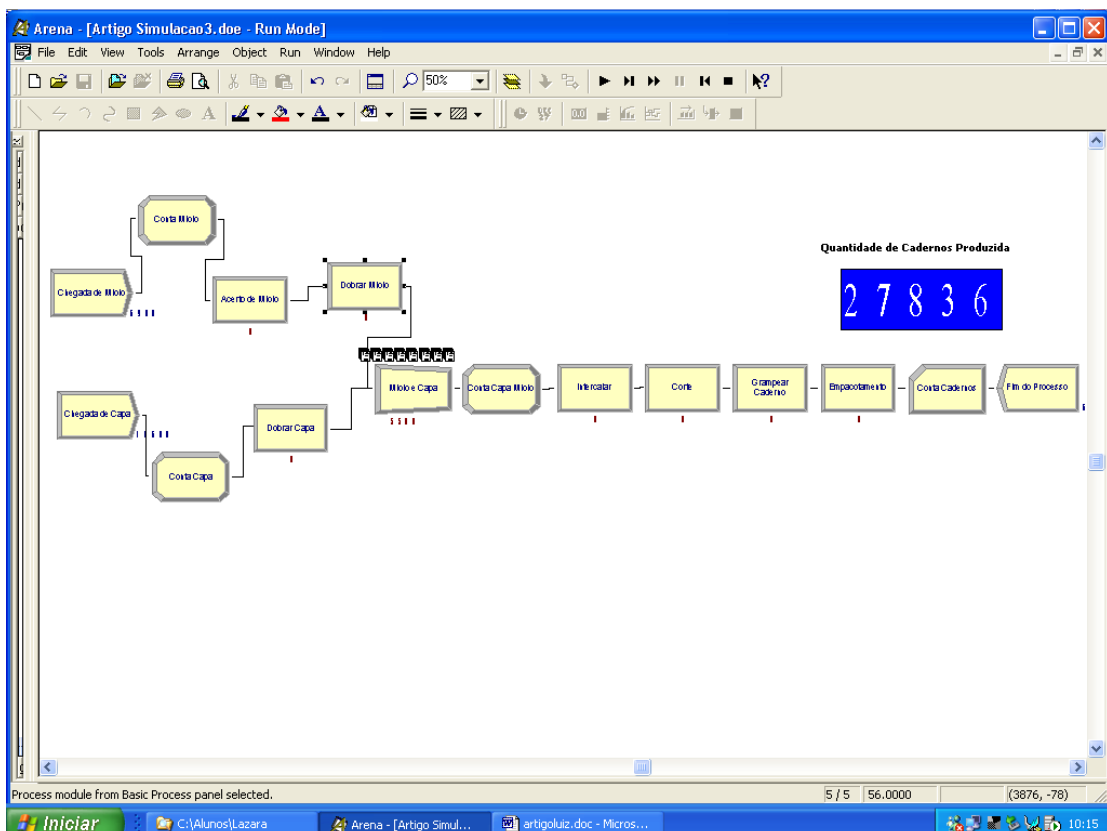


Figura 2 – Modelo inicial simulado no Arena

c) Validação do Modelo:

A validação do modelo ocorreu através de comparação entre os dados fornecidos pela empresa e os resultados obtidos através do modelo apresentado na figura 2. A produção

média observada na empresa foi de 35 caixas com 120 cadernos e a obtida através do modelo foi de 34 caixas com 120 cadernos.

d) Simulação do Modelo:

Os parâmetros de simulação do modelo foram 5 replicações, 8 horas de tempo de aquecimento e 56 horas de tempo de replicação (corrida).

Ao simular o cenário atual da linha de fabricação em estudo, obtiveram-se os dados para tempo de fila e taxa de utilização de recursos mostrados nos quadros 2 e 3.

<b>Etapa do Processo</b>	<b>Tempo de Fila (horas)</b>
Acerto de Miolo	0.05
Corte	0
Dobrar Capa	0.02
Dobrar Miolo	0.02
Empacotar	0.01
Grampear	0.08
Intercalar	0.01
Miolo e Capa	6.64
Total	6.83

Quadro 2 – Tempo de Fila da Configuração Atual

<b>Recurso</b>	<b>Taxa de Utilização</b>
Dobrador	0.30
Empacotador	0.28
Empacotadora	0.47
Grampeador	0.47
Grampeadora	0.47
Guilhotina	0,18
Intercalador	0.21
Mesa1	0.12
Mesa2	0.07
OperadorGuilhotina	0.18
OperadorVibrador	0.15
Vibrador	0.15

Quadro 3 – Taxa de Utilização da Configuração Atual

A partir da análise dos dados apresentados nos quadros 2 e 3, constatou-se uma grande espera de capa por miolo e uma baixa taxa de utilização de todos os recursos.

e) Reformulação do Modelo:

Como o modelo inicial foi validado, não houve necessidade de reformulação.

f) Aplicação do Modelo:

Através da simulação é possível fazer análises de sensibilidade para avaliar o efeito de possíveis alterações antes que elas ocorram de fato ou sejam implementadas. Essa fase consiste no teste de diferentes alternativas, utilizando a representação do sistema real, que é o modelo de simulação.

Após a observação dos resultados simulados e análise de vários cenários pode-se notar que o principal gargalo do sistema era a quantidade de miolos fornecidos para a linha de produção a cada período. Este número não era suficiente para suprir a quantidade de capas fornecidas no mesmo período. O aumento no número de miolos é bem absorvido pela linha de produção, sem a necessidade de aumento de recursos humanos ou materiais. Se o número de miolos fornecidos a cada entrega fosse aumentado em 50%, a produção final de cadernos seria aumentada de 27.836 (33 caixas) para 40.676 cadernos (48 caixas), ou seja, um aumento de 12.840 cadernos (15 caixas). As taxas de utilização e as produções dos cenários atual e proposto estão mostradas nos gráficos 1 e 2, respectivamente.

Ao simular este cenário, obtiveram-se os dados para tempo de fila e taxa de utilização de recursos apresentados nos quadros 4 e 5.

<b>Etapa do Processo</b>	<b>Tempo de Fila (horas)</b>
Acerto de Miolo	0.08
Corte	0
Dobrar Capa	0.02
Dobrar Miolo	0.03
Empacotar	0.01
Grampear	0.12
Intercalar	0.01
Miolo e Capa	2.21
Total	2.48

Quadro 4 – Tempo de Fila do Cenário Proposto

<b>Recurso</b>	<b>Taxa de Utilização</b>
Dobrador	0.38
Empacotador	0.42
Empacotadora	0.67
Grampeador	0.69
Grampeadora	0.69
Guilhotina	0.27
Intercalador	0.32
Mesa1	0.16
Mesa2	0.11
OperadorGuilhotina	0.27
OperadorVibrador	0.23
Vibrador	0.23

Quadro 5 – Taxa de Utilização do Cenário Proposto

Outros cenários alternativos foram testados, mas o aumento de produção observado foi irrelevante. Como exemplo, pode-se citar o impacto da variação do número de funcionários no tempo de fila.

As taxas de utilização dos recursos foram aceitáveis. Todos os funcionários apresentaram taxas de utilização inferiores a 70% e os equipamentos a 90%.

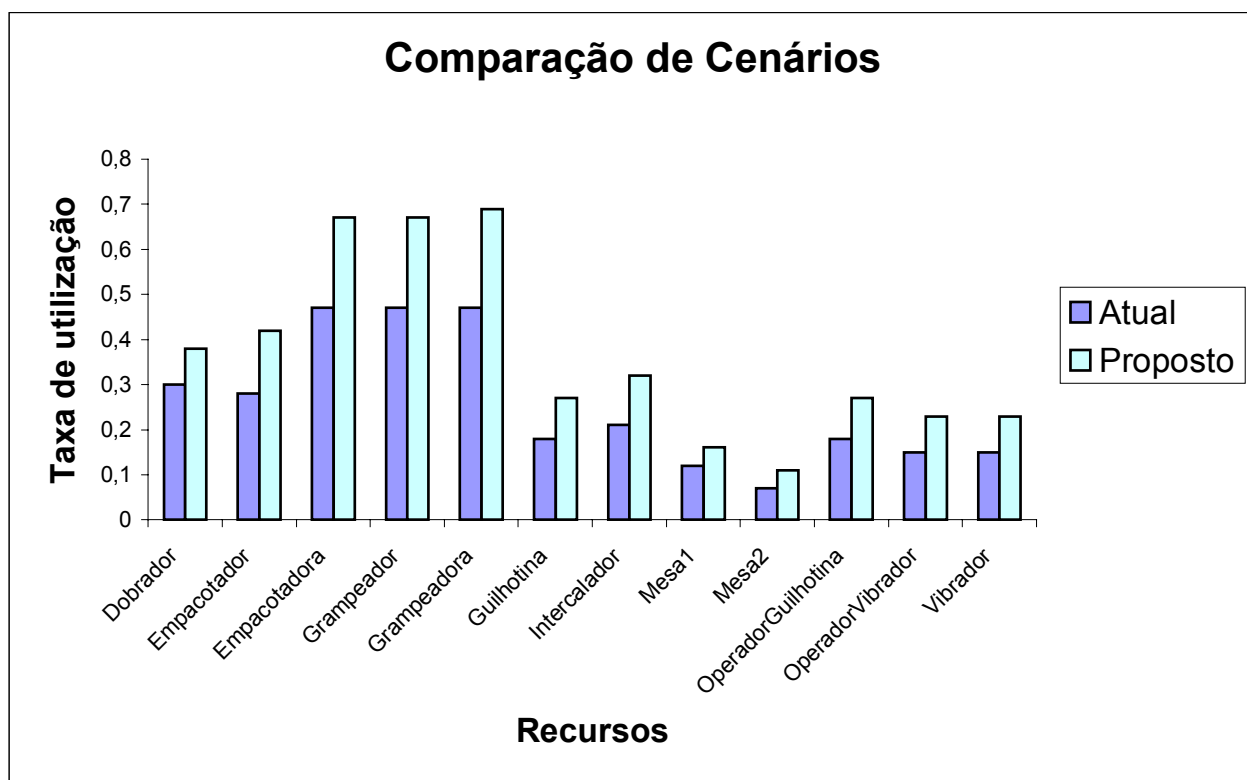


Gráfico 1 – Comparação das taxas de utilização dos cenários atual e proposto

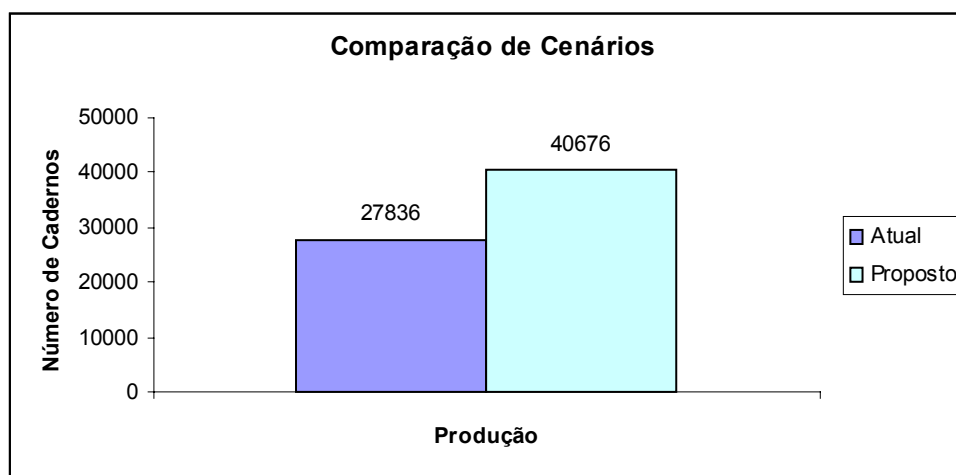


Gráfico 2 – Comparação das produções dos cenários atual e proposto

## 6. Conclusão

A Simulação é uma ferramenta adequada para a análise de sistemas de produção, a medida que, possibilita a visualização dos possíveis cenários obtidos através de mudanças internas e a influência de mudanças externas no sistema. Essa visualização permite antecipação e clareza no processo decisório.

A aplicação de simulação proposta nesse artigo mostrou-se adequada à situação encontrada na empresa, pois, verificou-se que esta utilizava como apoio à decisão o histórico da demanda, da produção e dos recursos utilizados nos anos anteriores. A aplicação da simulação neste contexto contribuiu para que se tivesse uma visão geral do sistema de fabricação, identificando os gargalos da produção, as possíveis mudanças no sistema e a melhor distribuição de seus recursos.

No caso em estudo, a simulação mostrou que o número de funcionários determinados



é suficiente. Mostrou também que, mantendo-se a situação atual da empresa será necessário um redimensionamento do espaço destinado ao estoque em processo, devido ao acúmulo de capas esperando miolo para serem intercalados.

Com o trabalho realizado pode-se observar que uma grande fila antes da junção de capa e miolo. Portanto sugere-se que a chegada de miolos aumente de 100 para 150 para equilibrar a chegada de capa com miolo e diminuir o tempo de espera das capas aguardando a chegada dos miolos. Esse resultado levará ao aumento da produção de 27836 para 40676 (46,13%) através do aumento da taxa de utilização dos recursos e não do aumento de sua quantidade.

## 7. Referências Bibliográficas

- [1] BERTRAND, J.W.M. & FRANSOO, J.C. (2002) - Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 22, n. 2, pp. 241-264.
- [2] FILHO, P.J.F. (2001). *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas – Com Aplicação em Arena*. Visual Books Editora. v.1, Florianópolis, Brasil
- [3] GOLDBARG, M.C., LUNA H.P.L. (2000). *Otimização Combinatória e Programação Linear*. Campus. Rio de Janeiro
- [4] LAW, A. M. & KELTON, W. D. (1991) *Simulation modeling and analysis*, 2ª Edição. McGraw-Hill, Singapore.
- [5] O'KANE, J.F.; SPENCELEY, J.R. & TAYLOR, R. (2000) - Simulation as an Essential Tool for Advanced Manufacturing Technology Problems. *Journal of Materials Processing Technology*, n.107, p. 412-424.
- [6] PEGDEN, C.D., SHANNON, R.E e SADOWSKI, R.P.(1990). *Introduction to Simulation Using SIMAN*, McGraw-Hill, v.2, New York, USA.
- [7] PIDD, M., *Modelagem empresarial: ferramentas para a tomada de decisão*. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- [8] PINTO, L.R. (1999). *Metodologia de Análise do Planejamento de Lavra de Minas a Céu Aberto Baseada em Simulação das Operações de Lavra*, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- [9] WAGNER, H. M. (1986) - *Pesquisa Operacional*. Prentice-Hall, Rio de Janeiro.