

SIMULAÇÃO DINÂMICA DO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA INDÚSTRIA DE CHAPAS DE AÇO: ESTUDO DE CASO

DYNAMIC SIMULATION ANALYSIS OF PRODUCTION PROCESSES OF A PROCESSING INDUSTRY STEEL PLATES

Nello Rossi Boiça* e Gilberto Clóvis Antonelli

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Produção, Av. Colombo, 5790, CEP 87.020-900, Maringá – Paraná. *Autor para correspondência. *E-mail: nellorossiboica@hotmail.com

Resumo

O trabalho tem como objetivo simular, por meio de um modelo, o processo de uma indústria de chapas de aço, para análise de aplicação de ferramentas de simulação dinâmica. O desenvolvimento do trabalho consiste em simular o modelo no cenário atual, para que se faça uma validação do modelo criado. Posteriormente, foram sugeridos mais dois cenários, e realizadas as simulações para comparação dos resultados. Obteve-se resultados significativos para a análise da produção e da ocupação dos recursos. Os resultados encontrados para o modelo criado podem servir como um apoio de tomada de decisão.

Palavras-chave: *simulação dinâmica; arena; chapas de aço.*

Abstract

The work aims to simulate, through a model, the process of industrial steel plates for analysis of application of dynamic simulation tools. The development work is to simulate the model in the current scenario, in order to do a validation of the model created. Later, two more scenarios were suggested, and performed simulations to compare the results. Significant results were obtained for the analysis of production and resource occupation. The results for the model created can serve as a decision-making support.

Key-words: *dynamic simulation; arena; steel plates.*

1. Introdução

A busca por uma melhor produtividade é uma realidade presente em todo processo produtivo, devido às pressões de concorrência interna e externa, do aumento de demanda exigido pelo mercado mundial e pelas exigências atuais do consumidor. Consumidor este, que tem a expectativa de um produto de qualidade, com um custo acessível e com prazo cada vez menor. Melhorar a produtividade e reduzir prazos de entrega exige a tomada de decisão, e

caso não exista um conhecimento profundo dos processos produtivos, a mesma pode ser uma tarefa bastante complexa envolvendo diversos riscos.

Neste sentido, uma ferramenta valiosa é a simulação, que funciona como um mecanismo de auxílio na tomada de decisão, sem a necessidade de grandes investimentos. A simulação considera todas as variáveis do processo e produz diversos cenários, permitindo uma tomada de decisão mais segura e com embasamento em resultados simulados.

O presente estudo mostra a utilização da simulação para analisar o processo produtivo de uma empresa de processamento de chapas de aço, com intuito de identificar restrições no processo produtivo e verificar a possibilidade de diminuição de recursos.

2. Revisão bibliográfica

Quando nos deparamos com um problema em busca de soluções para aperfeiçoar o processo, utilizando os recursos disponíveis de maneira eficiente, geralmente encontramos uma infinidade de suposições, ficando difícil calcular cada cenário com todas as suas variáveis. Para facilitar este processo podemos utilizar a simulação dinâmica, que segundo Freitas Filho (2001), consiste na aplicação de determinadas técnicas matemáticas em programas computacionais, as quais permitem imitar o funcionamento de praticamente qualquer tipo de operações e processos do mundo real.

Além de fornecer informações úteis para a tomada de decisões a simulação contribui para um melhor entendimento do processo, como confirma D.Knuth apud Costa (2002), "...frequentemente nos enganamos, pensando saber mais do que realmente sabemos sobre uma coisa, até que tentamos simulá-la num computador".

As ferramentas utilizadas para simulação computacional de processos permitem que diversos cenários sejam analisados, não somente se resolve um problema, mas responde a diversas dúvidas de quais serão as consequências da alteração de determinadas variáveis. Freitas Filho (2001) define esta flexibilidade de análises "Em contraste com os modelos de otimização, um modelo de simulação é executado ao invés de resolvido. As diferenças destas duas abordagens implicam que o modelo simulado permite análises quase que a todo instante, à medida que novas indagações sobre o comportamento do sistema modelado sejam aludidas".

As representações do processo real, mais conhecidos como modelos de simulação possuem cinco elementos, segundo Shannon (1975, p.76):

a) *Componentes*: são as partes (ou subsistemas) integrantes do sistema. Entende-se por sistema, um conjunto de objetos, que interagem entre si, para atingir um objetivo comum.

b) *Parâmetros e Variáveis*: são elementos do sistema que recebem valores. Os parâmetros podem receber valores arbitrários, enquanto que as variáveis recebem valores associados à função a qual elas estão atreladas.

c) *Relações Funcionais*: são normalmente apresentadas na forma de equações matemáticas, que relacionam as variáveis endógenas com as exógenas. Essas relações podem ser de ordem determinística (onde para uma dada entrada existe uma única saída) ou estocástica (onde para uma dada entrada existe(m) incerteza(s) associada(s) à saída).

d) *Restrições*: são limitações impostas pelo “modelista” ou pela natureza do problema, que restringem os valores das variáveis.

e) *Objetivos*: é o estabelecimento das metas do sistema e como elas podem ser avaliadas. A manipulação do modelo é orientada de forma a satisfazer esses objetivos.

Desta forma, podemos considerar que o modelo de simulação é um processo onde os *inputs*, ou entradas, são os dados pertinentes do sistema real simulado e os *outputs*, ou saídas, da simulação são as respostas do modelo simulado, ou seja, as informações que orientam uma tomada de decisão.

Como exemplo de entrada necessária para a modelagem da simulação podemos citar a descrição do processo, ou melhor, o fluxograma do processo que de acordo com Campos (1992), é fundamental para a padronização e posterior entendimento do processo. Ele facilita a visualização ou identificação dos produtos produzidos, dos clientes e fornecedores internos e externos do processo, das funções, das responsabilidades e dos pontos críticos.

Conforme ocorram mudanças na complexidade do modelo, pode haver mudanças nas necessidades dos dados de entrada. Por isso a coleta de dados deve iniciar o quanto antes, pois se trata de um trabalho que demanda muito tempo e sua necessidade pode ser alterada durante a modelagem do sistema (Banks *et al.*, 1995).

O *software* Arena

Uma ferramenta valiosa para a simulação é o software ARENA[®], desenvolvido pela PARAGON. Segundo o fabricante, o software é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho & animação, análise estatística e análise de resultados. Entre as vantagens citadas pelo fabricante, está o fato do software não necessitar de nenhuma linha de programação, podendo criar o modelo a partir da utilização de fluxogramas. (PARAGON, 2012)

O *Input Analyser*

Dentro do software ARENA[®] existe também uma ferramenta para análise dos dados de entrada do processo, sendo possível gerar equações que correspondam à distribuição dos dados de entrada. Esta ferramenta é denominada de *Input Analyser* e trata-se de uma ferramenta poderosa e versátil, que pode ser usada para determinar a qualidade de ajuste das funções de distribuição de probabilidade dos dados de entrada, como também, ajustar a função de distribuição específica para os dados disponíveis. (PARAGON, 2012).

Os dados processados pelo *Input Analyser* geralmente representam os intervalos de tempo associados com um processo aleatório. Por exemplo, o *Input Analyser* pode ser utilizado para analisar um conjunto de tempos entre dois eventos, um conjunto de tempos de processo, ou o tempo entre sucessivas falhas do sistema. (PARAGON, 2012).

Módulo *Create*

O módulo *Create* é definido como o ponto de partida para as entidades em um modelo de simulação. As entidades são criadas usando uma programação ou com base em um tempo entre chegadas. As entidades deixam o módulo *Create* para iniciar o processamento através do sistema. O tipo de entidade é especificado neste módulo. (PARAGON, 2012).

Módulo *Process*

É o principal método de processamento na simulação. Os processos representados podem utilizar ou não recursos e podem reter ou liberar as entidades, dependendo do tipo de processamento escolhido. Além disso, há a opção de usar um "submodelo" e especificar a lógica hierárquica definida pelo usuário. O tempo do processo é atribuído à entidade e pode ser considerado como um valor acrescentado, sem valor agregado, espera, transferência ou outra. (PARAGON, 2012).

Módulo *Resources*

O módulo *Resources* define os recursos no sistema de simulação, incluindo informações de custos e disponibilidade de recursos. Os recursos podem ter uma capacidade fixa que não varia ao longo da simulação ou pode operar com base em uma agenda, definida no módulo *Schedule*. (PARAGON, 2012).

Módulo *Schedule*

Este módulo de dados em conjunto com o módulo de recursos (*resources*) pode ser usado para definir uma tabela da utilização de um recurso ou então pode ser utilizado com o módulo de *Create* para definir um cronograma de chegada. O módulo *Schedule* pode ser usado também para o fator de atrasos com base no tempo de simulação. (PARAGON, 2012)

Módulo *Entity*

Este módulo de dados define os tipos de entidade diferentes e seus valores iniciais de imagem em uma simulação. Também é possível atribuir informações de custos iniciais e soma de custos durante os processos para a entidade. (PARAGON, 2012).

As entidades são definidas nos modelos e podem ser, por exemplo, peças, pessoas, veículos, dependendo do modelo. Neste estudo de caso as entidades são os pedidos, portanto os relatórios são gerados com base nos tempos de processo dos pedidos.

Módulo *Decide*

Este módulo permite a tomada de decisão de processos no sistema. Ele inclui opções para tomar decisões com base em uma ou mais condições (por exemplo, dar diferentes caminhos para a entidade, caso confirme ou não uma condição a ela atribuída) com base em uma ou mais probabilidades (por exemplo, 75% verdade, 25% falsa). As condições podem ser com base em valores de atributos (por exemplo, pesos), os valores de variáveis (por exemplo, o número negado), o tipo de entidade, ou uma expressão (por exemplo, tamanho da fila maior que um determinado número). (PARAGON, 2012).

Módulo *Dispose*

Este módulo é caracterizado como o ponto final para as entidades em um modelo de simulação. As estatísticas das entidades podem ser gravadas antes de passarem pelo módulo *Dispose*. (PARAGON, 2012).

3. Metodologia

O desenvolvimento do trabalho teve como base o estudo de caso, utilizando referências bibliográficas para fundamentação teórica.

A coleta de dados se deu por meio de relatórios gerados pelo módulo de planejamento e controle da produção do software de gestão da empresa.

A modelagem do sistema produtivo da empresa foi realizada utilizando o software Arena®, com o qual se criou um modelo do processo para que fossem feitas as simulações de diferentes cenários e com suas devidas replicações para resultados mais confiáveis. O modelo foi validado realizando a comparação dos resultados da simulação do processo com os dados reais.

Uma vez com o modelo validado, foi possível fazer as modificações de cenários, identificar os gargalos produtivos e comparar resultados. As informações geradas pelas simulações de cenários diferentes foram utilizadas como apoio à tomada de decisão.

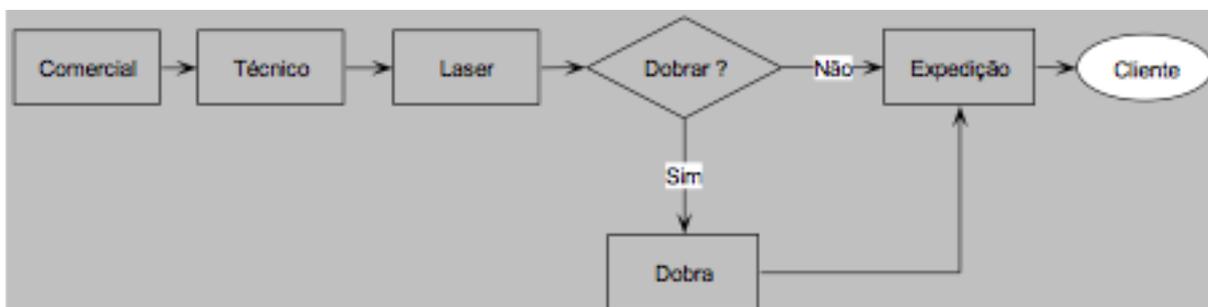
4. A empresa

A empresa estudada é uma indústria do ramo metalúrgico, localizada no município de Maringá. Fundada no ano de 2005, o foco da empresa é investir em tecnologia de ponta para suprir a demanda regional de processamento de aço de alta precisão.

A empresa não possui uma linha de produtos, seu objetivo é atender empresas da região que estejam interessadas em terceirizar parte da sua produção para ganhos de produtividade, especificamente os serviços de corte e dobra de chapas de aço. Por ser uma empresa focada na terceirização, seus clientes estão pulverizados em vários segmentos de mercado, tais como de elevadores, automobilístico, equipamentos eletrônicos, construção civil, entre outros.

O fluxo de movimentação dos pedidos através dos setores da empresa obedece ao fluxograma mostrado na Figura 1. O fluxograma mostra a interação entre os processos e serviu de base para a construção do modelo de simulação.

Figura 1 - Fluxograma representativo dos processos.



Fonte - Elaboração própria.

A entidade utilizada no modelo é o pedido feito pelo cliente e liberado pelo setor **comercial**. No setor **técnico**, são corrigidos os desenhos referentes aos pedidos, feito uma verificação das cotas, escalas e demais parâmetros do projeto para finalmente serem

programados para as máquinas de corte a laser, de controlador numérico computadorizado (CNC). Na etapa seguinte, no setor **laser** os pedidos são processados nas três máquinas de corte a laser e caso necessitem de dobras, são encaminhados para o setor **dobra** senão passam direto para o setor **expedição**. Este último setor por sua vez recebe os pedidos vindo diretamente dos setores **laser** e também **dobra** e enviam aos clientes.

5. Coleta de dados

Devido ao tipo de segmento da empresa, os pedidos são os mais variados possíveis, não obedecendo a um padrão, como em indústrias que tem em sua linha de produção produtos padronizados. Desta forma, para que se tenha uma amostragem representativa do processo, foi necessária a coleta de dados de um grande número de pedidos, tendo desta maneira uma distribuição mais confiável.

Os dados foram coletados no período de janeiro a fevereiro de 2012, por meio do módulo de planejamento e controle de produção do software de gestão utilizado na empresa. Um número de 900 pedidos tiveram seus dados coletados, gerando uma distribuição confiável e representativa do processo.

Analisando os dados coletados referente à saída de pedidos do setor **comercial**, chegou-se a uma média de 27 pedidos por dia, obedecendo à distribuição horária mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição de chegada de pedidos por hora

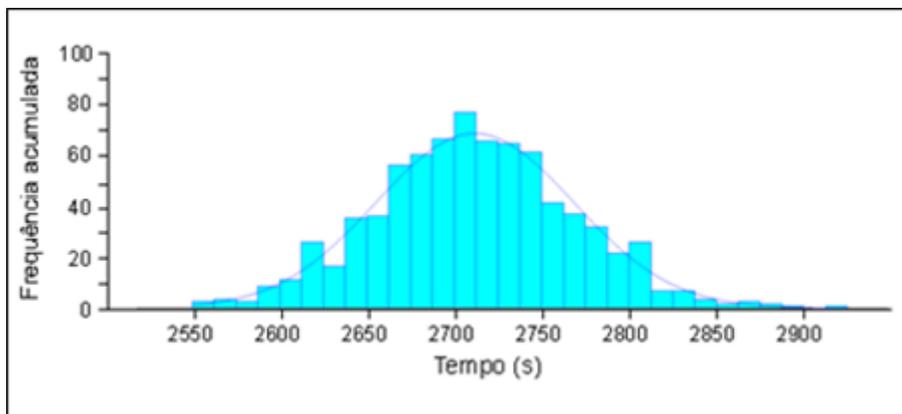
Período	Número de Pedidos	Período	Número de Pedidos
08h00min às 09h00min	1	14h00min às 15h00min	3
09h00min às 10h00min	1	15h00min às 16h00min	3
10h00min às 11h00min	2	16h00min às 17h00min	3
11h00min às 12h00min	2	17h00min às 18h00min	3
13h00min às 14h00min	3	18h00min às 19h00min	6

Fonte - Elaboração própria.

Para determinar o tempo de processamento dos pedidos nos diversos setores, foi medido o intervalo entre o início e o fim das atividades de cada setor por pedido, posteriormente estes tempos foram convertidos em segundos e analisado com o auxílio da ferramenta *Input Analyser* do software *Arena*.

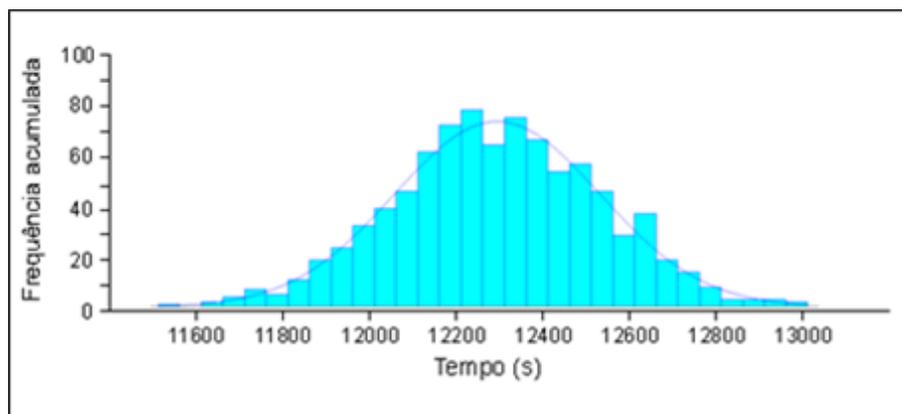
Os resultados da análise desses dados retornaram distribuições normais, conforme as Figuras 2, 3 e 4, representando os tempos de processo para os setores **técnico, laser e dobra** respectivamente.

Figura 2 - Distribuição dos tempos de processamento do setor técnico



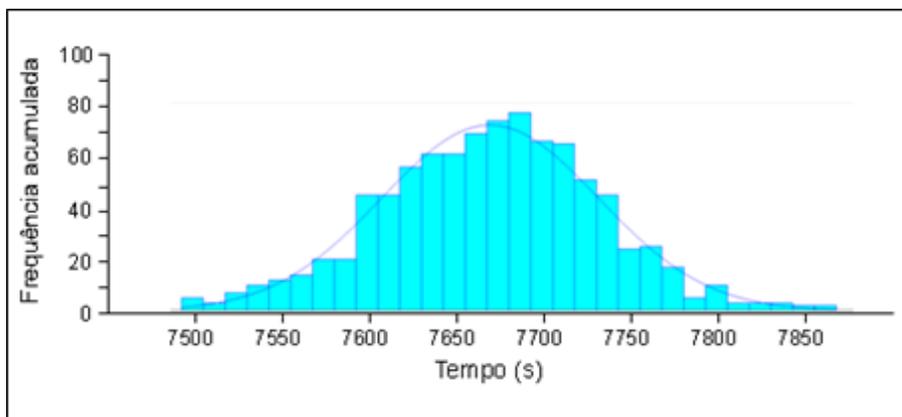
Fonte – Elaboração própria do autor

Figura 3 - Distribuição dos tempos de processamento do setor laser.



Fonte – Elaboração própria do autor

Figura 4 - Distribuição dos tempos de processamento do setor dobra.



Fonte – Elaboração própria do autor

Na Tabela 2 temos as definições quantitativas, resultantes da análise dos dados por meio da ferramenta *Input Analyser* do software Arena. Essas informações foram implantadas no modelo de simulação para a representação dos respectivos processos.

Tabela 2 – Resultados para os tempos de processamento por meio do *Input Analyser*.

Processo	Distribuição	Tempo Médio (s)	Desvio padrão (s)
Técnico	Normal	2710	921
Laser	Normal	7660	2190
Dobra	Normal	12300	3370

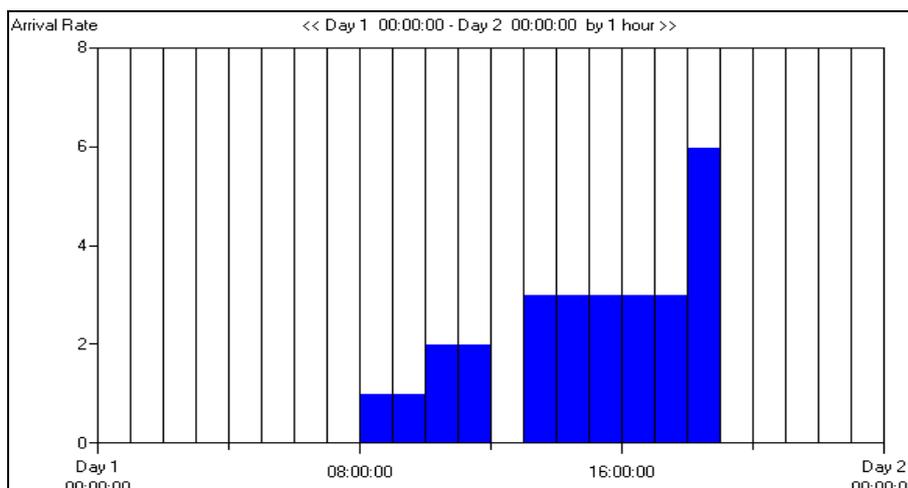
Fonte - Elaboração própria.

Além dos tempos de processamento dos processos foi necessária uma análise da disponibilidade dos recursos necessários para que se executem as atividades pertinentes a aquele processo. Entende-se por recursos, as máquinas, os colaboradores, as fontes de energia, entre outros.

Como a empresa trabalha com regime de turnos diferentes para cada processo, foi feito um levantamento dos horários disponíveis de funcionamento, baseados nos turnos dos colaboradores, uma vez que as máquinas estão disponíveis 24 horas por dia.

A Figura 5 representa a disponibilidade de pessoal do setor **comercial**, que mostrado na Tabela 1 tem um único turno, iniciando às 08h:00min e com término às 19h:00min, e intervalo entre às 12h00min e 13h00min para almoço. Como as solicitações dos clientes são realizadas durante o dia, os pedidos são liberados pelo comercial durante este período. Porém os vendedores se ocupam com outras atividades, por exemplo, com o atendimento ao cliente, deixando para liberar os pedidos assim que finalizam estas atividades. Isso explica um volume maior de liberação de pedidos após as 18h00min. Neste caso, o número de pedidos liberados não depende da quantidade disponível de recursos, pois consideramos que os pedidos poderiam aumentar ou diminuir de acordo com a necessidade dos clientes.

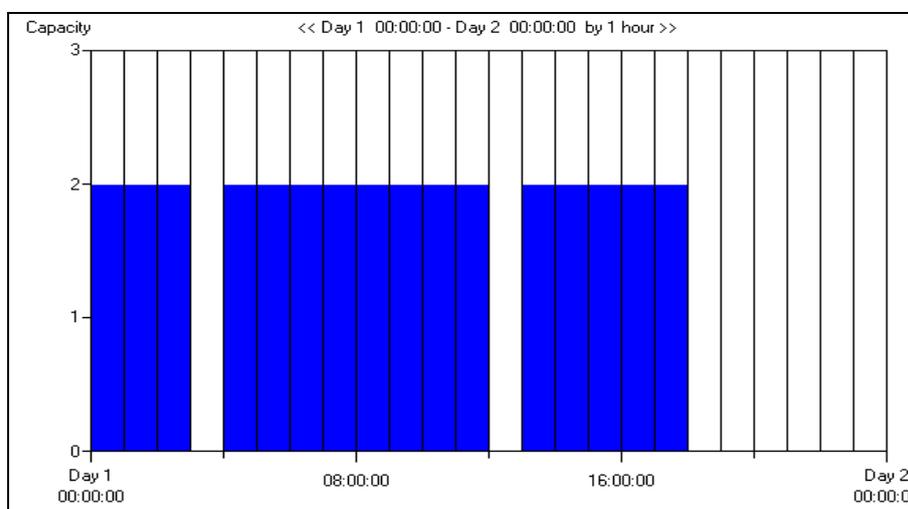
Figura 5 - Schedule de chegada de pedidos do comercial.



Fonte – Elaboração própria.

O setor **técnico** trabalha em dois turnos, um iniciando às 00h00min e terminando às 08h00min, enquanto o segundo turno inicia à 08h00min e finaliza às 18h00min, ambos com um intervalo de uma hora para as refeições. A disponibilidade é de dois desenhistas por turno conforme mostrado na tabela Schedule representada pela Figura 6.

Figura 6 - Schedule da capacidade de recursos do setor técnico.

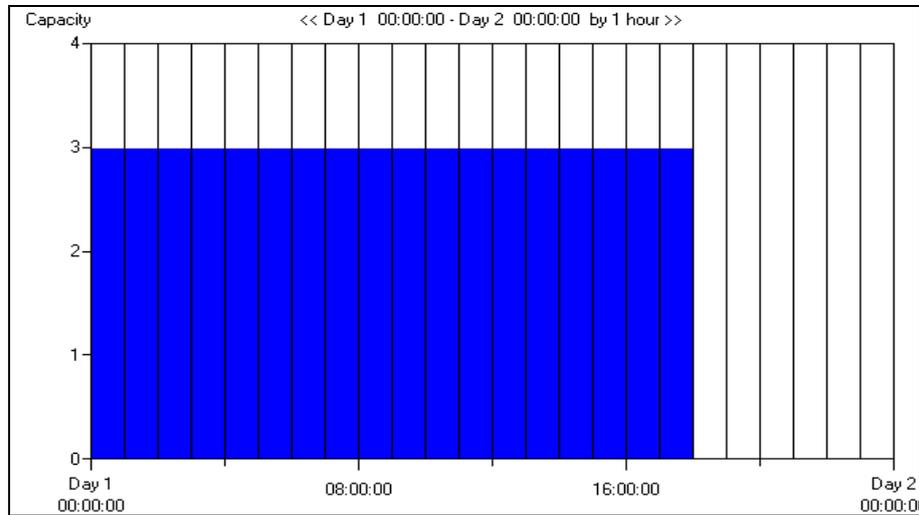


Fonte – Elaboração própria.

O setor de **Laser** possui também dois turnos, com disponibilidade de três máquinas por turno, entretanto, devido a um revezamento dos operadores as máquinas não param durante os horários de refeições. A opção de não utilizar as máquinas desse setor após as 18h00min, deve-se ao fato das mesmas apresentarem um consumo elevado de energia elétrica, que neste período chega a ter um custo sete vezes maior, o que acarretaria em um

aumento no custo de produção. A disponibilidade dos recursos deste setor está representada pela Figura 7.

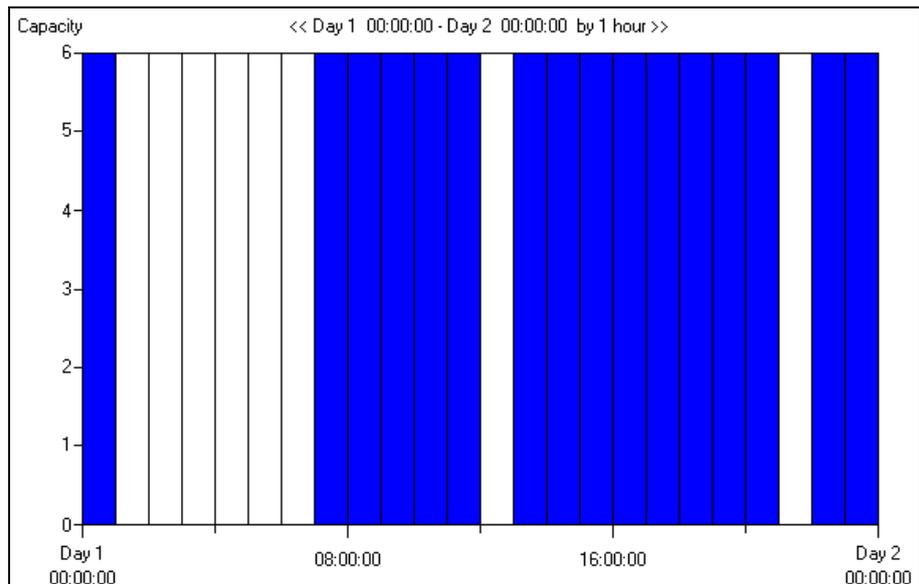
Figura 7 - Disponibilidade de recursos do setor laser.



Fonte - Elaboração própria.

O setor **dobra**, cuja disponibilidade de recursos está representada pela Figura 8, também trabalha em dois turnos, com seis máquinas disponíveis por turno. O primeiro turno é das 07h00min às 17h00min e o segundo turno entre 17h00min e 01h00min do dia seguinte, ambos com intervalo de uma hora para refeições.

Figura 8 - Disponibilidade de recursos do setor dobra.



Fonte – Elaboração própria.

Além dos dados de tempo de processamento e capacidade dos setores, foi necessário estabelecer o percentual de pedidos que são encaminhados para o setor **dobra**, informação esta, definida no momento da negociação com o cliente. Os dados coletados mostraram que do total de 900 pedidos analisados, 450 pedidos foram encaminhados ao setor de dobra, representando 50% do total de pedidos.

6. Resultados de discussão

O processo da empresa foi modelado utilizando o fluxograma representado pela Figura 1 e utilizando os dados coletados, constituindo assim, o que foi denominado de Cenário I. Este cenário foi simulado, por meio do modelo, um período de trinta dias de produção e com dez replicações para aumentar a confiabilidade dos dados. Como resultados, dessa simulação, se obteve uma quantidade de 739 pedidos entregues no período, com um tempo médio de processamento dos mesmos de 4,6 horas. O tempo médio de espera dos pedidos nas filas dos setores foi de 39 horas, totalizando um tempo médio de entrega para o pedido de 43,6 horas, ou seja, o intervalo de tempo entre a liberação do pedido pelo setor **comercial** até ser disponibilizado para o setor **expedição** está próximo de dois dias. Na Tabela 3 estão representados os demais resultados obtidos na simulação desse cenário.

Tabela 3 - Resultados da simulação para o Cenário I.

Propriedade	Setor		
	<i>Técnico</i>	<i>Laser</i>	<i>Dobra</i>
Tempo de espera na fila do setor (horas)	3,1	35,0	1,7
Número médio de pedidos na fila do setor	3,6	40,0	0,9
Taxa de utilização dos recursos (%)	66	100	54

Fonte - Elaboração própria.

Analisando os resultados da simulação do Cenário I, referentes à Tabela 3, é possível identificar uma restrição produtiva no setor **laser**, restrição esta comumente conhecida como “gargalo de produção”. Do tempo total para entrega de um pedido, que está próximo de 44 horas, em média 35 horas ou 80% do tempo é gasto pelo pedido na fila de espera para ser processado neste setor.

Também foi possível verificar um índice baixo de utilização do setor **dobra**, com apenas 54% do tempo disponível de mão de obra sendo efetivamente utilizadas. Esta constatação pode servir de apoio à tomada de decisão da empresa, pois veio de encontro aos

interesses da mesma, uma vez que a diretoria manifestou a intenção de deslocar uma máquina dobradeira para outra unidade fabril.

Para a confirmação dos resultados obtidos, foi construído um novo cenário, denominado de Cenário II, verificando assim, se o deslocamento de uma máquina do setor **dobra** para outra planta não traria resultados negativos. Neste novo cenário, foi alterado o *Schedule* do setor **dobra**, representado pela Figura 8, para uma capacidade de cinco máquinas disponíveis em vez de seis máquinas.

No Cenário II, os resultados para quantidade de pedidos entregues no período, o tempo médio de processamento desses pedidos e o tempo médio de espera dos mesmos nas filas dos processos não apresentaram alterações significativas, se comparados com os resultados do Cenário I. Na Tabela 4 temos os demais resultados para a simulação do Cenário II.

Tabela 4- Resultados da simulação para o Cenário II.

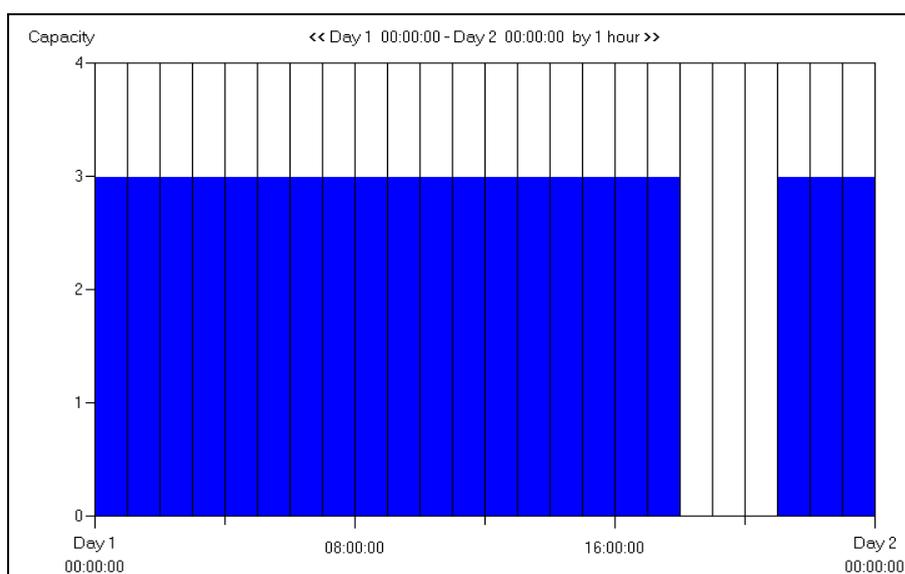
Propriedade	Setor		
	<i>Técnico</i>	<i>Laser</i>	<i>Dobra</i>
Tempo de espera na fila do setor (horas)	3,1	30,9	1,9
Número médio de pedidos na fila do setor	3,5	35,0	1,0
Taxa de utilização dos recursos (%)	66	100	66

Fonte - Elaboração própria.

Os resultados referentes ao Cenário II, mostrados na Tabela 4, indicam que o fato de retirar uma máquina do setor **dobra** não irá gerar problemas para entrega de pedidos, porque o tempo de espera dos mesmos na fila desse setor aumentaria, em média, apenas 0,2 horas, enquanto que, a quantidade média de pedidos na fila do setor continuaria próximo de um. Já em relação à utilização dos recursos, é possível verificar um acréscimo, passando de 54% para 66%, mas que apenas representa uma melhor utilização dos recursos no setor.

Comprovada a possibilidade de retirar uma máquina do setor **dobra**, sem que isso acarretasse mudanças significativas na entrega dos pedidos, um novo cenário foi construído, onde além da retirada da máquina do setor **dobra**, foi aumentada em três horas diárias a disponibilidade do setor **laser**. O setor passaria a trabalhar também no período das 21h00min às 24h00min, entretanto, continuaria evitando o consumo de energia elétrica no horário de maior tarifação deste recurso pela distribuidora responsável. O novo *Schedule* proposto para o setor **laser**, referente agora ao Cenário III, está representado na Figura 9.

Figura 9 - Proposta de distribuição de recursos no setor laser.



Fonte – Elaboração própria.

Os resultados obtidos com a simulação para o Cenário III estão apresentados na Tabela 5 em uma forma comparativa com o resultado do primeiro cenário.

Tabela 5 - Comparativo entre os resultados da simulação do Cenário I e do Cenário III.

Característica	Cenário I	Cenário III
Tempo médio na fila do setor laser (horas)	35,0	5,3
Tempo médio total para entrega dos pedidos (horas)	43,6	13,9
Número de pedidos processados	739,0	784,0

Fonte - Elaboração própria.

No Cenário III se obteve uma redução de 84% no tempo médio de espera dos pedidos na fila do setor **laser** em relação ao cenário I. Conseqüentemente, o tempo médio total para entrega dos pedidos, após sua liberação pelo setor **comercial**, foi reduzido em 68%, de 43,6 para 13,9 horas. Nesse novo cenário houve um aumento de 6,8% da produção, onde a quantidade de pedidos entregues saltou de 739 para 784 pedidos.

Na Tabela 6 têm-se os demais resultados obtidos para o cenário III nos diversos setores.

Tabela 6 - Resultados da simulação para o Cenário III.

Propriedade	Setor		
	<i>Técnico</i>	<i>Laser</i>	<i>Dobra</i>
Tempo de espera na fila do setor (horas)	3,0	5,3	1,9
Número médio de pedidos na fila do setor	3,4	6,0	1,1
Taxa de utilização dos recursos (%)	65	93	72

Fonte - Elaboração própria.

A simulação, por meio do Cenário III, demonstrou que a melhoria no setor **laser**, com a redução do número de pedidos na fila e da taxa de utilização, proporcionaram também, uma melhor utilização dos recursos do setor **dobra**, pois o setor **laser** processando um número maior de pedidos o setor **dobra** permanece menos tempo ocioso.

7. Conclusões

O trabalho atingiu o objetivo proposto, o de simular o processo de uma indústria de chapas de aço, a partir de um modelo, e analisar os resultados em busca de um apoio a tomada de decisões.

No processo simulado, se observa que existem recursos que estão limitando a produção, e conseqüentemente atrasando a entrega de pedidos. Também ficou claro que no cenário atual existem recursos que estão em excesso no sistema, e que disponibilizá-los para outras utilizações não traria prejuízos à produção da empresa.

Embora não tenha sido simulado, uma sugestão de terceiro turno no laser, com a utilização de 24 horas por dia, pode ser estudada, com uma solução para a redução do custo de energia elétrica, que poderia ser utilizado geradores nos períodos de custo elevado da mesma. Entretanto, esta solução carece de um estudo de viabilidade econômica.

Apesar de ser útil para um melhor entendimento do sistema, o processo apresentado foi construído com muitas simplificações, não contemplando os índices de retrabalho e falhas em máquinas, entre outros fatores, o que pode sugerir a elaboração de um trabalho mais detalhado no futuro. O software Arena disponibiliza tais ferramentas para uma aplicação mais profunda e criação de modelos mais complexos.

Os resultados comprovam a eficiência da utilização da simulação para análise de diferentes cenários, evitando que decisões erradas ou precipitadas sejam tomadas gerando elevados custos para empresas.

Referências

BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L. **Discrete-event system simulation**. 2. Ed. New Jersey: Prentice hall, 1995. 548 p.

CAMPOS, V. F. **TQC – Controle da qualidade total: no estilo japonês**. Minas Gerais: 5° ed., 1992.

COSTA, M. A. B. - **Simulação de sistemas**, 2002. Disponível em: <<http://www.simucad.dep.ufscar.br>>. Acesso em: 20. Nov. 2012.

FREITAS FILHO, P. J. - **Introdução à modelagem e simulação de sistemas - com aplicações em arena**. Florianópolis: Bookstore Livraria Ltda. 2001. 322 p.

PARAGON **Arena: Família Arena**. Disponível em: <<http://www.paragon.com.br>>. Acesso em: 24 Novembro 2012.

SHANNON, R. E. - **Introduction to simulation using siman**. 2. Ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1992. 640 P.