



SPOLM2007

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 07 e 08 de novembro de 2007.

ANÁLISE E MELHORIA DO FLUXO DE PROCESSO EM ÁREA/EQUIPAMENTO GARGALO POR MEIO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO

Laerte José Fernandes

ITA

Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 Vila das Acácias - CEP 12228-900 – S.J. dos Campos – S.P

laerte.fernandes@villares.com.br

Luis Alberto Osés Rodriguez

DPD - FEG - UNESP

Av Dr. Ariberto Pereira da Cunha,333 Pedregulhos – CEP 12516-430 Guaratinguetá – S.P

Luis.Rodrigues@villares.com.br

Anderson Correia

ITA

Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 Vila das Acácias - CEP 12228-900 – S.J. dos Campos – S.P

Correia@ita.br

Fernando Augusto Silva Marins

DPD - FEG – UNESP

Av Dr. Ariberto Pereira da Cunha,333 Pedregulhos – CEP 12516-430 Guaratinguetá – S.P

fmarins@feg.unesp.br

Resumo

Este trabalho apresenta um modelo de simulação para um estudo de caso na unidade de Cilindros para Laminação de Aço Villares S.A. O trabalho teve como finalidade alcançar um melhor gerenciamento da área/equipamento gargalo da linha de produção. A simulação atuará em conjunto com um modelo de otimização PLI (Programação Linear Inteira) desenvolvido anteriormente, com a finalidade de melhorar o atendimento de prazo junto aos clientes. Como resultado, tem-se a otimização do processo produtivo, com foco no gerenciamento da restrição, que ocasiona a redução das filas de espera e do lead time, melhorando o atendimento ao cliente em uma produção não seriada.

Palavras-Chaves: Modelo de simulação; Cilindros de laminação; Produção não seriada.

Abstract

This work presents a simulation model for a case study in a Steelmaker Industry. The work had as purpose to get a better area/equipment bottleneck management in the production line. The simulation will be used together with an ILP (Integer Linear Programming) model developed previously, with the purpose to improve the customer service. As results of this ILP

and Simulation combined approach, which follows a constraint management focus, the productive process was optimized, and both queues and lead time were reduced, improving the customer service in a make-to-order production.

Keywords: Simulation model; Rolling mill rolls; Make to order production.

1. Introdução

O cenário atual de intensa competitividade entre as cadeias de suprimento ultrapassa a competição pura e simples entre as empresas, levando-as a reexaminar suas estratégias de gerenciamento de materiais, sistemas e métodos de produção. Este é o contexto que serve de base para introduzir o assunto deste trabalho.

Diante deste fato, “o objetivo da estratégia de operações é garantir que os processos de produção e entrega de valor ao cliente sejam alinhados com a intenção estratégica da empresa quanto aos resultados financeiros esperados e aos mercados a que pretende servir e adaptados ao ambiente em que se insere” de acordo com Corrêa & Corrêa (2006).

Oliveira, Duarte e Montevechi (2002) afirmam que a produção tem o desafio de desenvolver novas metodologias ou adotar os sistemas de gestão que possibilitem a sobrevivência da empresa no mercado. Tais sistemas exigem uma reestruturação organizacional que permita alcançar os objetivos propostos.

Ao longo das décadas, percebe-se que alguma coisa mudou, estreitando o relacionamento entre a média e a alta gerência; entretanto, a busca pela integração entre a estratégia e a manufatura ainda parece presente e válida nos dias de hoje. A dinâmica do mercado continua a criar demandas, a área estratégica da empresa define o foco de atuação do negócio, e cabe à função manufatura realizá-las.

Nesta linha de pensamento, Papadopoulos, Heavey e Browne (1993) comentam que uma empresa de manufatura costuma lidar no dia-a-dia com problemas de tomada de decisão no âmbito estratégico, tático e operacional. No nível estratégico, estão as decisões relacionadas à missão da empresa e a seus objetivos de longo prazo, tais como a localização de plantas industriais, a aquisição de novos recursos e a introdução de novas tecnologias e produtos. As decisões de nível tático situam-se em um horizonte de planejamento mais estreito, que varia de semanas a meses, e servem, geralmente, de input para as decisões de longo prazo. Elas dizem respeito ao tipo de sistema de fabricação (produção em massa ou em lotes), ao modelo de produto a ser fabricado e ao volume a ser produzido.

Finalmente, as decisões de nível operacional tomadas no ambiente do chão de fábrica são aquelas de curto prazo, podendo variar de horas até dias, e geralmente, estão relacionadas à alocação dos recursos recuperáveis (máquinas) para a transformação dos recursos irrecuperáveis (matérias-primas e componentes) em produtos acabados. Os problemas de alocação de recursos envolvem as atividades de seqüenciamento de lotes de produção – *scheduling* - que competem por recursos escassos, também chamados, corriqueiramente, de recursos com capacidade finita.

O propósito do presente trabalho foi avaliar através da utilização da simulação as interferências que possam ocorrer durante o processo de fabricação de um cilindro de laminação. Além disso, por meio da simulação, será possível determinar uma melhor gestão do equipamento gargalo, uma vez que este recurso tem que abastecer o setor de tratamento térmico e alimentar as retíficas, de forma a estabelecer prioridades de usinagem e transformar o processo num fluxo contínuo, sem desabastecimento das linhas.

O trabalho está organizado em 8 Seções. A Seção 2 apresenta os princípios da modelagem de sistemas utilizando simulação. A seção 3 apresenta o método de modelagem proposto. A Seção 4 apresenta a descrição do sistema. A Seção 5, a definição do modelo formal. A Seção 6 apresenta a simulação do sistema realizado no Software *Arena* ®. Na Seção 7 é realizada a discussão sobre os resultados. Finalmente, na Seção 8, são apresentadas as

conclusões, seguida da bibliografia consultada.

2. Modelagem de sistemas utilizando simulação

2.1 Modelagem

A evolução da indústria de computadores nas últimas décadas permitiu a difusão da técnica de simulação para os mais variados campos do conhecimento. Progressos notáveis vêm sendo obtidos na operação de sistemas de engenharia, tais como os processos de manufatura, exploração e refino de petróleo, aplicações em ensaios mecânicos de deformação e na engenharia aeroespacial empregando simuladores de vôo.

Banks *et al.* (2000) definem que a simulação é a imitação da operação de um processo real ou sistema ao longo do tempo. Mihran & Mihram (1974), citado por Banks *et al.* (2000), afirmam que todo modelo de representação é uma simplificação de um sistema real. Isto quer dizer que um modelo de simulação é uma réplica reduzida de um conjunto de variáveis de um sistema real. Cabe ao designer do sistema a tarefa de identificar as variáveis, extraí-las do sistema, e correlacioná-las para que, enfim, possa representá-las em um modelo teórico experimental.

Pode-se dizer que a simulação é, antes de tudo, uma técnica experimental que permite avaliar o efeito da mudança de uma variável de entrada ou parâmetro, no comportamento da variável controlada, também chamada de variável de saída do sistema.

Kelton & Law (1991) comentam que os modelos de simulação podem ser determinísticos ou probabilísticos. Modelos determinísticos são aqueles em que todas as variáveis relevantes são assumidas como certas e disponíveis. Modelos probabilísticos ou estocásticos são modelos nos quais os valores de uma ou mais variáveis não são conhecidos com certeza (variáveis randômicas ou aleatórias), mas sabe-se que esta(s) variável(is) segue(m) alguma distribuição de probabilidade conhecida.

Pode-se ter ainda uma combinação de ambos os modelos. Situações em que a taxa de chegada, o tempo entre as chegadas, os tempos de processamento acontecem de forma aleatória, são regidas por distribuições de probabilidades, e são consideradas de natureza probabilística. Caso contrário, são consideradas eventos determinísticos. Há modelos que contemplam tanto parâmetros determinísticos quanto estocásticos e, por isso, as variáveis de saída dos mesmos também são de natureza estocástica.

O sistema pode ser estático, quando suas variáveis são estacionárias, isto é, quando elas não variam com o tempo; ou dinâmico, quando apresenta variáveis transientes.

O sistema é composto por servidores que prestam serviço para as entidades (clientes ou objetos que se movem no sistema). As entidades possuem propriedades que lhes conferem características peculiares, chamadas atributos. Por exemplo, na fabricação de cilindros de laminação, o *blank* representa a entidade cujo atributo é seguir uma rota particular na linha de produção, sendo transportado por caminhões para as três áreas de usinagem.

É conveniente observar que os resultados de experimentos obtidos através da simulação de sistemas de manufatura ou de qualquer outro sistema dependem das hipóteses simplificadoras adotadas durante a elaboração do modelo. Assim, o analista deve ter percepção suficiente para conseguir extrair do sistema real suas variáveis relevantes e, a partir delas, elaborar um modelo teórico e reduzido que represente com exatidão o sistema observado, conforme Figura 1.

Erro!

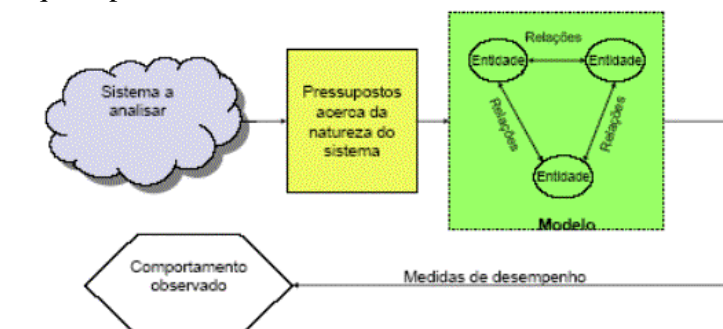


Figura 1: Sistema de modelagem (Fonte: Banks, 2000)

2.2 Simulação e sua utilização

Simulação é uma técnica de modelagem e análise utilizada para avaliar e aprimorar os sistemas dinâmicos de todos os tipos, sendo possível, através de seu emprego, estudar o comportamento e as reações de um determinado sistema através de modelos, que reproduzem suas propriedades e comportamentos em uma escala menor, permitindo sua manipulação e seu estudo detalhado.

De acordo com Hillier & Lieberman (cap 1, 2001) a Simulação de Sistemas é uma das técnicas utilizadas pela Pesquisa Operacional (PO) para auxiliar o processo de decisão. A PO é um método científico de trabalho que, utilizando técnicas e instrumentos científicos e baseando-se em análises quantitativas, auxilia o processo de decisão e que visa obter o melhor rendimento possível no funcionamento de uma organização ou o melhor desempenho possível de um sistema em estudo.

O objetivo geral da Pesquisa Operacional é o de descobrir regularidade em algum fenômeno e ligar essa regularidade com outros conhecimentos, de tal forma que o fenômeno possa ser modificado ou controlado.

A Simulação é capaz de lidar de maneira eficaz com a variabilidade natural dos processos e proporcionar estimativas das influências destas sobre o desempenho do sistema. Ela fornece uma estrutura de raciocínio e análise que permite resolver problemas mais amplos e mais complexos.

Avaliar alternativas de ação nunca foi tarefa das mais fáceis, principalmente, quando os resultados da escolha de determinada alternativa não são totalmente previsíveis. A simulação é indicada para sistemas em que as conseqüências das relações entre seus diversos componentes não são conhecidas a priori, e que dificilmente poderiam ser traduzidas de maneira analítica.

Segundo Fleury, Wanke e Figueiredo (p. 296, 2000), a simulação é aplicada em tipos de problemas nos quais se necessita:

- Proporcionar melhor compreensão sobre a natureza de um processo;
- Identificar problemas específicos ou, nas áreas problemáticas de um sistema em particular os gargalos, os estoques intermediários acima do ideal e os recursos eventualmente ociosos;
- Auxiliar a estabelecer estratégias de investimento futuro para um sistema já existente, mostrando quando e quanto se tem a ganhar a cada nova etapa;
- Testar novos conceitos antes de sua implementação sem interferir na operação de um sistema já instalado e em curso;
- Avaliar benefícios de novos investimentos antes que haja um comprometimento de fato dos recursos de uma empresa.

3. O método de modelagem proposto

O método de modelagem proposto é baseado em Goldbarg & Luna (2000) e Bateman & Bowden (1992), conforme Figura 2.

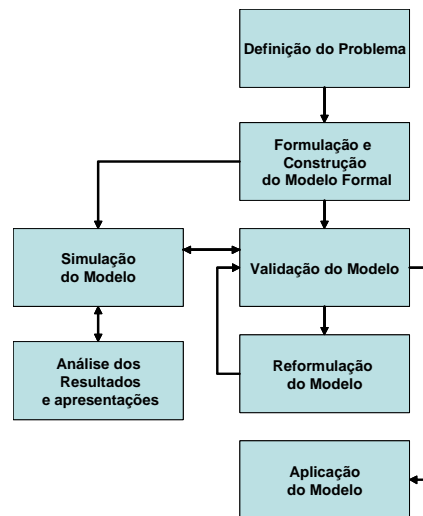


Figura 2: Seqüência do método (Fonte: os autores)

- Definição do Problema e Estabelecimento de Objetivos

Obter uma definição precisa e concisa do problema a ser estudado pode ser mais difícil do que parece. Nesta etapa do processo, é necessário definir claramente qual é o problema a ser analisado, quais são as perguntas a serem respondidas, quais são as hipóteses a serem testadas e quais são os efeitos a serem estimados.

A inclusão desnecessária de detalhes irrelevantes resultará em altos custos de modelagem, tempos de resposta mais longos e rodadas de computador mais lentas. Os objetivos de um estudo de simulação fluirão naturalmente a partir da definição do problema, uma vez que o propósito de se executar mais tarde uma experimentação com o modelo será sempre o de resolver o problema.

- Desenvolvimento do Modelo

O modelo normalmente iniciará como uma abstração do sistema, com crescentes níveis de detalhes adicionados à medida que se procede ao seu desenvolvimento. O analista, ao construir o modelo, deve ser capaz de pensar abstratamente em conceitos correlatos de sistemas do mundo real para que haja congruência entre a estrutura do modelo e a ferramenta de modelagem em uso. A construção do modelo pode acontecer conjuntamente com a coleta de dados.

- Validação

A Validação é o processo de se assegurar que o modelo reflete a operação do sistema real em estudo de tal forma que dê encaminhamento ao problema definido. Testar a validação deve ser um esforço cooperativo em equipe entre o modelista/analista, potenciais usuários e outras pessoas familiarizadas com a operação real do sistema.

Um método de testar um modelo envolve o uso de mudanças nos dados de entrada para determinar se o mesmo responde da mesma forma que o modelo real. Alterando o valor de um parâmetro de entrada e comparando o impacto com as respostas conhecidas do sistema, a credibilidade de um modelo pode ser estabelecida. Os resultados deste tipo de teste servirão também como uma análise de sensibilidade para identificar os tipos de informação que merecem esforço adicional de junção de dados. Uma outra forma de validação estabelece o uso de dados de entrada históricos para pilotar o modelo. As saídas do modelo são então comparadas com as saídas históricas para se determinar se as saídas estão acuradas.

- Verificação/Reformulação

Um modelo está pronto para ser verificado quando ele funciona da maneira satisfatória como ele foi concebido de acordo com as restrições pré-estabelecidas. A verificação do modelo pode ser efetuada executando-se a simulação e monitorando-se de perto a sua operação.

Várias ferramentas podem ser utilizadas para verificar um modelo. A animação pode ser efetuada em velocidade adequada para analisar o movimento das entidades no sistema. Variáveis e contadores podem ser apresentados na tela da animação ou monitorados por meio de plotagem para assegurar que as variáveis estejam respondendo ao analista. As saídas do modelo de simulação podem ser também comparadas com as previsões de outros modelos analíticos, se disponíveis.

- Experimentação/Aplicação

O projeto experimental é o desenvolvimento de procedimentos e testes para analisar e comparar alternativas, maximizando a utilidade da informação produzida pelas rodadas da simulação, minimizando o esforço.

O ideal é que o analista e demais envolvidos no projeto, tenham pelo menos algumas idéias preliminares sobre as alternativas de soluções a serem avaliadas. Antes de avaliar cada uma com o modelo, o especialista em simulação deverá determinar o tempo para simulação, visando obter resultados aceitáveis.

- Análise dos Resultados e Apresentação

Cada configuração do modelo e seus respectivos resultados de saída devem ser bem documentados. Além de facilitar relatos eventuais, o armazenamento dos registros irá auxiliar o analista a determinar não apenas que alternativa atinge o melhor resultado, como também permitirá a ele observar tendências que podem sugerir alternativas adicionais a serem consideradas.

4. Descrição do sistema real

A etapa de Usinagem e Tratamento Térmico (UTT) é a fase final do processo de fabricação de cilindros de laminação de tiras a frio, sendo posterior aos processos de Lingotamento e Forjamento.

Os cilindros, ao entrarem na UTT, são armazenados no estoque de entrada. A partir daí, o processo pode ser dividido em três partes: a Preparação para o Tratamento Térmico, o Tratamento Térmico e a Usinagem Final.

Durante a fase de Preparação para o Tratamento Térmico, cada cilindro passa por uma mandriladora para receber os furos de centro. A seguir, ela é encaminhada para os tornos de desbaste e de acabamento. Depois da passagem pelo torno de acabamento, o cilindro ainda passa por um outro torno que realizará as operações de faceamento e de furação dos centros. Após estas etapas, o cilindro está pronto para ser tratado termicamente.

A fase de Tratamento Térmico tem início com a realização de um pré-aquecimento, o qual é seguido, na maioria dos casos, pelos processos de têmpera por indução (TPI), subzero e degelo. Para alguns cilindros, o processo de pré-aquecimento é seguido por um processo de têmpera de pescoço. Após a têmpera de pescoço, os cilindros retornam para o forno de pré-aquecimento e seguem a seqüência normal de operação dos demais cilindros: têmpera, subzero e degelo.

A seguir, independentemente dos cilindros terem ou não realizado o processo de têmpera de pescoço, eles são encaminhados para os fornos de revenimento. Um terceiro tipo de cilindro pode não precisar das operações de subzero e degelo. Nesse caso, ele é encaminhado diretamente da têmpera para o forno de revenimento.

Finalmente, independentemente do tipo de cilindro, a segunda fase do processo tem término com a medição da dureza do cilindro. Se a dureza estiver dentro das especificações de projeto, o cilindro segue adiante; se a dureza for menor do que o especificado, ele retorna para o

processo de pré-aquecimento, repetindo todas as etapas anteriores; se o cilindro apresentar uma dureza superior à especificada, ele repete a etapa de revenimento.

Na fase de Usinagem Final, cada um dos cilindros passa novamente pelo torno de face/centro, sendo encaminhado para o torno de acabamento. Depois do torno de acabamento, os cilindros devem ser retificados e fresados, não importando qual dos dois processos será realizado primeiro (embora seja mais comum retificar o cilindro antes de fresá-lo). Após a passagem pelos processos de retificação e fresamento, o cilindro estará pronto.

Vale observar que as filas são formadas nos cavaletes colocados ao lado de cada máquina ou forno, sendo que o primeiro cilindro que chega é o primeiro a sair. Vale observar também que os cilindros são transportados de uma máquina para uma fila assim que uma operação é concluída; e que o transporte das filas para as máquinas são realizados assim que as máquinas ficam desocupadas. Finalmente, deve-se mencionar que todos os transportes são realizados através de pontes-rolantes.

De acordo com o que foi descrito, pode-se definir as entidades, as atividades e os recursos do sistema: As Entidades correspondem aos cilindros; as Atividades correspondem aos processos de Furação, Desbaste, Acabamento para TPI, Face/Centro, Pré-Aquecimento, Têmpera por Indução, Subzero, Degelo, Revenimento, Face/Centro para Acabamento, Acabamento, Face/Centro Final, Retificação e Fresamento; finalmente, os Recursos correspondem às máquinas e aos fornos: Mandriladora (1), Tornos de Desbaste (2), Tornos de Acabamento (2), Tornos de Face/Centro (2), Fornos de Pré-Aquecimento (2 fornos com capacidade de até 5 cilindros cada), TPI (1), Caixas de Subzero (4), Caixas de Degelo (12), Fornos de Revenimento (3 fornos com capacidade para 5 cilindros cada), Retíficas (2) e Fresadoras (2), além, é claro, das pontes-rolantes (3). A Figura 3 representa esquematicamente o fluxo de produção descrito acima.

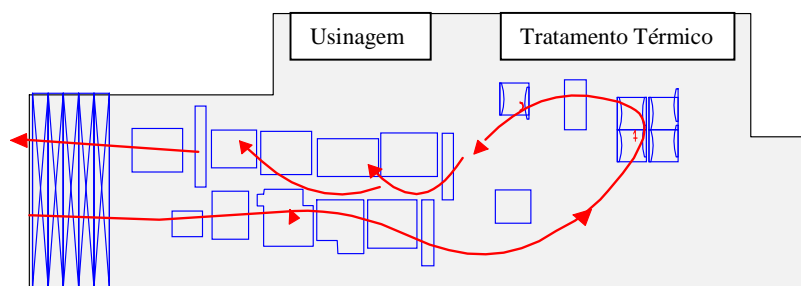


Figura 3: Seqüência do Fluxo de Operação (Fonte: os autores)

5. Definição do modelo formal

Os componentes do modelo descritos anteriormente são as máquinas-ferramenta, os fornos e os cilindros. Como ilustração do trabalho realizado serão apresentados somente os setores de usinagem e tratamento térmico, supondo que os setores de lingotamento e de forjamento irão garantir o abastecimento da linha.

Como efeito de simplificação, considerar-se-á que as máquinas estarão sempre ocupadas por pelo menos um operário, não havendo nenhuma máquina fora de operação. Através da observação e acompanhamento do processo e de seu histórico, é possível afirmar que tais hipóteses são aceitáveis.

Para facilitar o entendimento, o Modelo Formal será apresentado inicialmente sem muitos detalhes; mas à medida que a discussão for avançando, sua complexidade irá aumentando.

Inicialmente, serão apresentadas apenas as três fases fundamentais do processo (Figura 4): a Preparação para o Tratamento Térmico, o Tratamento Térmico e a Usinagem Final.

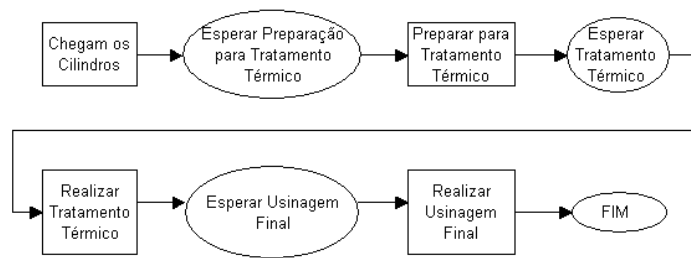


Figura 4 – Modelo Formal das Fases Fundamentais do Processo (Fonte: os autores)

A seguir, serão apresentados os detalhes de cada uma das etapas do processo. A união das Figuras 5, 6 e 7, nesta ordem, resultará no modelo formal completo. A Figura 5 apresenta o Modelo Formal para a fase de Preparação para Tratamento Térmico, A Figura 6 a fase do tratamento térmico e a Figura 7 a fase da usinagem final.

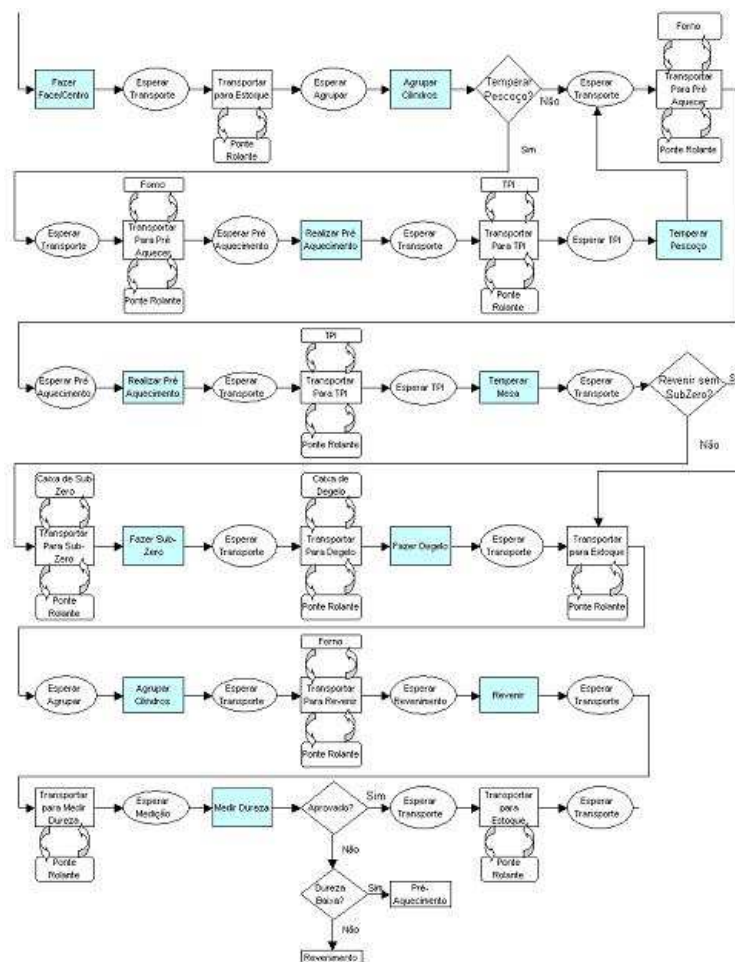


Figura 5 – Modelo Formal para a Fase de Preparação para Tratamento Térmico (Fonte: os autores)

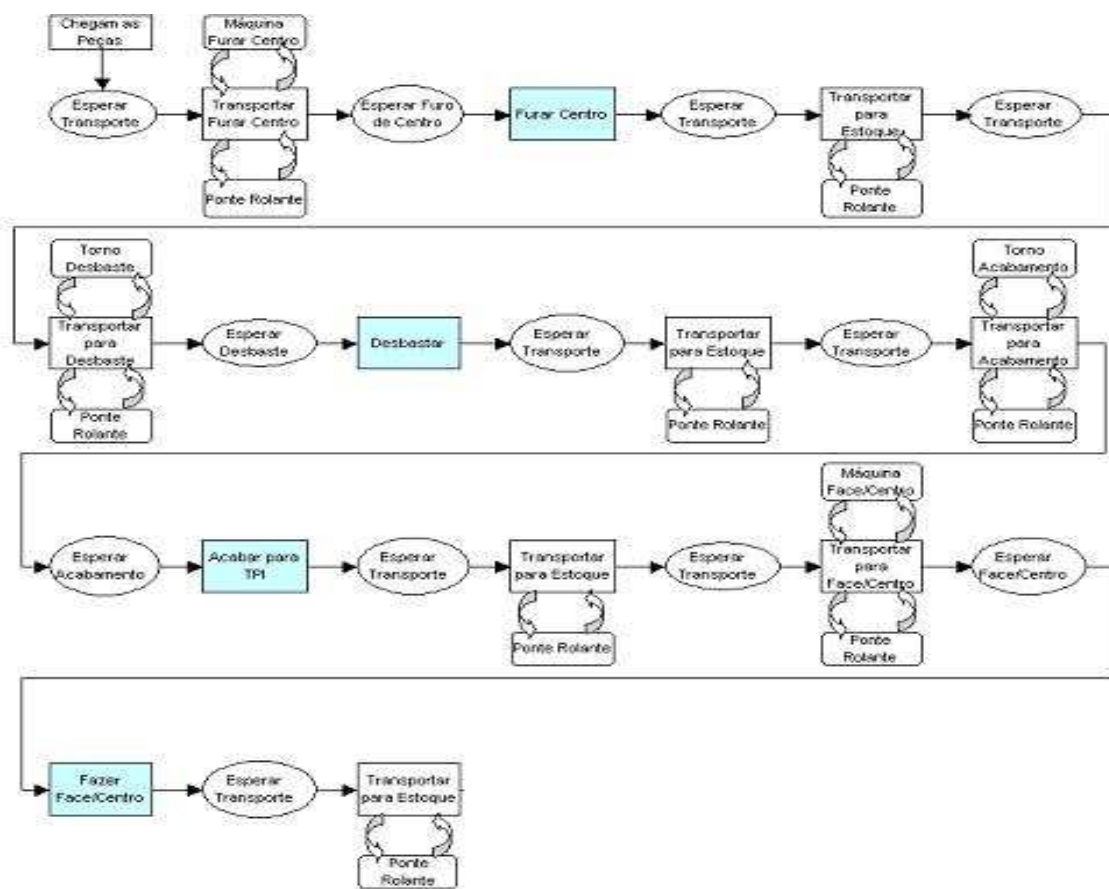


Figura 6 – Modelo Formal para a Fase de Tratamento Térmico (Fonte: os autores)

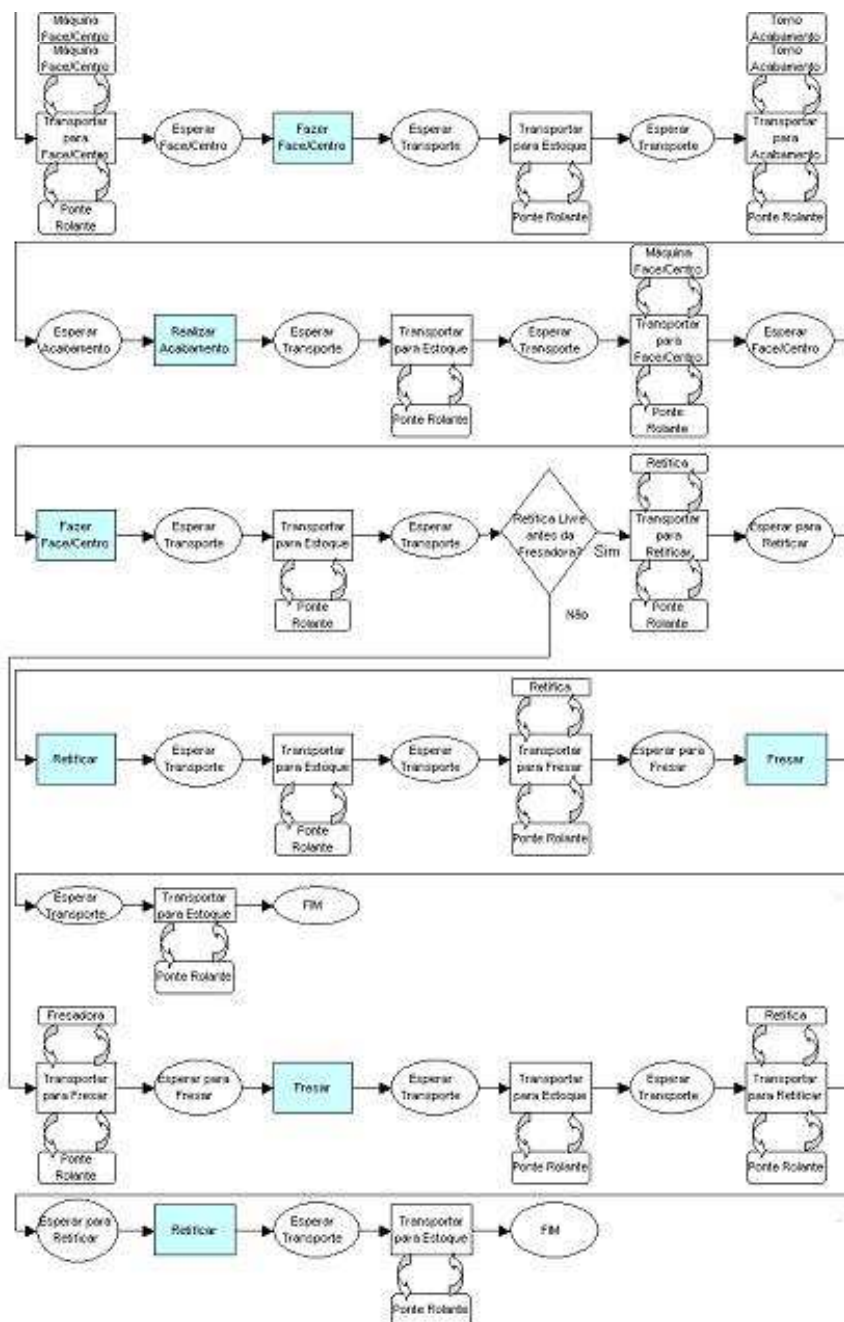


Figura 7 – Modelo Formal para a Fase de Usinagem Final (Fonte: os autores)

6. Modelagem do cenário usando ARENA ®

A modelagem do cenário, utilizando a configuração de blocos ou módulos do *Arena* ® versão 10, é comentada a seguir:

- Foi modelado o setor da usinagem (Figura 8) utilizando os recursos de programação do *Arena* ® tendo como base o trabalho realizado anteriormente pelos autores de otimização que utilizou a PLI - Programação Linear Inteira (Hillier & Lieberman, 2001) e com base nos conceitos da Teoria das Restrições (TOC – Theory of Constraints), proposta por Eli Goldratt (Blackstone, 2001), na análise do fluxo de processo. O trabalho realizado de otimização leva em consideração as restrições do sistema produtivo (tempo do turno de

acabamento, capacidade de geração de metal líquido, temperatura de tratamento térmico, tipo de lingoteira) através desta análise foi possível determinar qual é a melhor seqüência para o “nascimento” dos cilindros utilizando a PLI.

- Os dados de entrada são os resultados do modelo de PLI que levou em consideração as restrições do sistema conforme Tabela 1 (Os dados que estão representados por letras não podem ser apresentados por motivo de confidencialidade).

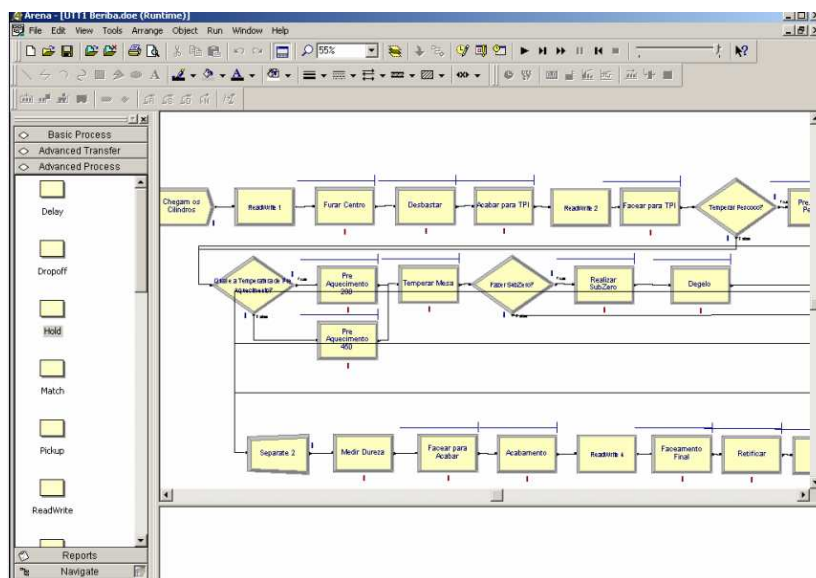


Figura 8 – Modelagem através do Arena ®

Tabela 1 – Dados de entrada Tabela 1 do Arena ® (Fonte: os autores)

Cilindro	OV	Temperatura Pré-Aquecimento (C)	Temperatura Revenimento (C)	Temperar Pescoco (C)	Sub Zero (C)	Furar (h)	Desbastar (h)	Acabar para TPI (h)	Face/ Centro (h)
48213	411127	A	X	0	0	1,5	6	3	1
59218	412503	A	Y	0	-60	1,5	8	4	1
59219	412503	B	Z	0	-60	1,5	8	4	1
63227	413129	A	X	Y	-90	1,5	8	3	1
59220	412503	B	Z	0	-60	1,5	7	4	1
59221	412503	B	Z	0	-60	1,5	8	4	1
Cilindro	OV	Temperar Mesa (h)	Degelo (h)	Revenir (h)	Face/ Centro (h)	Acabamento (h)	Face/ Centro (h)	Retificar (h)	Fresar (h)
48213	411127	2,5	0	C	2	8	4	8	6
59218	412503	2,5	D	C	2	8	5	10	9
59219	412503	2,5	D	C	2	8	5	20	9
63227	413129	2,5	D	D	2	10	3	8	8
59220	412503	2,5	D	D	2	7	5	9	9
59221	412503	2,5	D	D	2	7	5	9	9

7. Discussão dos resultados

Por meio da simulação é possível determinar, para o *mix* de produção existente, a capacidade média mensal, o tamanho da fila, o número de recursos e a ocupação dos equipamentos. A Tabela 2 mostra um exemplo dos indicadores que podem ser obtidos através da simulação e que são gerados pelo *Arena* ® sempre que o programa é executado.

Utilizando o modelo de simulação criado é possível, também, definir o melhor momento em que cada cilindro deve passar pelos tornos de acabamento, que são o gargalo do sistema, conforme a Tabela 3. Seguindo-se a seqüência gerada por esta tabela, haverá um melhor controle do abastecimento do tratamento térmico e das retíficas, o que evitará o desabastecimento dos equipamentos e garantirá um fluxo contínuo de produção. Estas mudanças tornarão o processo mais enxuto; além disso, haverá um maior grau de acerto no cumprimento do prazo, o que

implicará num melhor atendimento ao cliente.

Tabela 2 – Indicadores chaves de ocupação/filas (Fonte: saída dos resultados do Arena ®)

Key Performance Indicators			
System	Average		
Number Out	126		
Queue	Waiting Time		
	Average	Minimum Value	Maximum Value
Desbastar.Queue	110,58	37,0469	202,24
Faceamento Final.Queue	1,9159	0,00	12,4400
Facear para Acabar.Queue	4,1791	0,00	14,9340
Facear para TPI.Queue	2,2963	0,00	13,8040
Fresar.Queue	0,1244	0,00	3,0000
Furar Centro.Queue	1,8333	0,00	10,6655
Pre Aquecimento 280.Queue	8,6512	0,00	37,6400
Usage	Number Scheduled		
	Average	Minimum Value	Maximum Value
Caixa de Degelo	12,0000	12,0000	12,0000
Caixa de SubZero	3,0000	3,0000	3,0000
Estufa	1,0000	1,0000	1,0000
Estufa Maior	1,0000	1,0000	1,0000
Estufa Menor	1,0000	1,0000	1,0000
Forno de Pre Aquecimento	5,0000	5,0000	5,0000
Forno de Revenimento	3,0000	3,0000	3,0000
Fresadora	2,0000	2,0000	2,0000
Mandriladora	1,0000	1,0000	1,0000
Retifica	2,0000	2,0000	2,0000
Torno de Acabamento	2,0000	2,0000	2,0000
Torno de Desbaste	2,0000	2,0000	2,0000
Torno de Faceamento	2,0000	2,0000	2,0000
Usage	Scheduled Utilization		
	Value		
Caixa de Degelo	0,7235		
Caixa de SubZero	0,7276		
Estufa Maior	0,5649		
Estufa Menor	0,5442		
Forno de Pre Aquecimento	0,8096		
Forno de Pre Aquecimento 45	0,8004		
Forno de Revenimento	0,6264		
Fresadora	0,7812		
Mandriladora	0,6881		
Retifica	0,8463		
Torno de Acabamento	0,9297		
Torno de Desbaste	0,9240		
Torno de Faceamento	0,6682		

Tabela 3 – Fluxo de produção do gargalo (Fonte: os autores)

Nº do Cilindro	Ir Para
50591	Tratamento Térmico
50931	Tratamento Térmico
40660	Tratamento Térmico
54834	Tratamento Térmico
54835	Tratamento Térmico
63227	Acabamento
59218	Acabamento
59219	Acabamento
54996	Tratamento Térmico
59220	Acabamento
59221	Acabamento
51252	Acabamento
54997	Tratamento Térmico
50658	Acabamento
59316	Tratamento Térmico
51251	Acabamento
59317	Tratamento Térmico
59342	Tratamento Térmico
59442	Tratamento Térmico
59443	Tratamento Térmico
54998	Tratamento Térmico
54999	Tratamento Térmico
59318	Tratamento Térmico
50590	Acabamento
51897	Acabamento

8. Conclusão

Com a aplicação da metodologia exposta, certamente os resultados obtidos serão satisfatórios, pois com um melhor gerenciamento do gargalo poder-se-á prever, com maior exatidão, o fluxo da produção, garantindo um fluxo contínuo e uma melhor previsibilidade do acerto do prazo ao cliente. Os resultados gerados pela simulação poderão alimentar um quadro de gestão à vista para que os operadores do equipamento gargalo possam seguir o fluxo proposto. Também com os resultados da simulação será possível propor melhorias com os grupos de Kaizen.

Estes trabalhos visarão à redução dos tempos mortos com um aumento da produtividade da área analisada. Além dos ganhos acima citados, a aplicação da simulação ajudará a planejar a gestão da produção antes dela ser executada, trazendo novos *insights*, o que contribuirá para o melhor entendimento dos problemas que possam comprometer o desempenho dos recursos gargalos.

Finalmente, vale ressaltar que o papel da manufatura pode ser visto como uma arma de competitividade das empresas. A utilização correta da simulação, conforme apresentado neste trabalho, é uma forma eficaz para se obter um melhor planejamento da produção com uma melhor previsibilidade dos prazos de entrega e, conseqüentemente, um melhor atendimento ao cliente.

Agradecimentos a Aços Villares e todos os funcionários da área de planejamento, engenharia e da produção pela valorosa colaboração em ceder os dados utilizados neste trabalho.

Referências

- [1] BANKS, Jerry; CARSON, John. S.; NELSON, Barry L.; NICOL, David M. **Discrete-event system simulation**. 3 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2000.
- [2] BATEMAN, Robert E.; BOWDEN, Royce O. **Simulação Otimizando os Sistemas**. 1 ed. Ed. Imam, 1992.
- [3] BLACKSTONE, John H. Theory of Constraints – a status report, **International Journal of Production Research**, 2001, vol. 39, n. 6, pp. 1053-1080.
- [4] CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e operação**. 2 ed. Ed. Atlas, 2006.
- [5] FLEURY, Paulo Fernando; WANKE, Peter; FIGUEIREDO; Kleber Fossati. **Logística Empresarial – A perspectiva brasileira**, 1 ed., Ed. Atlas, 2000.
- [6] GOLDBARG, Marco; LUNA, Henrique. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 1 ed., Ed. Campus, 2000.
- [7] HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. Introduction to Operations Research – 7th edition, McGraw Hill, 2001.
- [8] LAW, Averril; KELTON, W. David. **Simulation Modeling and Analysis**, 2nd ed. USA: McGraw-Hill, 1991.
- [9] MIHRAM, Danielle; MIHRAM, G. Arthur. Human Knowledge, the role of models, metaphors and analogy, **International Journal of General Systems**, 1974, vol.1, n.1, pp. 41-60.
- [10] OLIVEIRA, F. A.; DUARTE, R. N.; MONTEVECHI, J. A. B. **O reflexo da mudança organizacional sobre o desempenho de uma empresa de autopeças: estudo de caso**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 22, 2002, Curitiba. Anais...Curitiba: PUC-PR, 2002.
- [11] PAPADOPOULOS, H. T.; HEAVEY, C.; BROWNE, J. **Queueing Theory in Manufacturing Systems Analysis and Design**. 1st. ed. London: Chapman & Hall, 1993.