

**DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS
DE GESTÃO DA PRODUÇÃO
UTILIZANDO TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO**

DEDALUS - Acervo - EESC



31100008540



Selma Cristina da Silva Ferreira

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Engenharia
de Produção.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Antonio Freitas Rentes

São Carlos

1999

Class.	TESE-EESC
Cutt.	F2152
Tombo	048/00

311 00008540

5/5 10 70587

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

F383d Ferreira, Selma Cristina da Silva
Desenvolvimento de cenários de gestão da produção
utilizando técnicas de simulação / Selma Cristina da
Silva Ferreira. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.
Área: Engenharia de Produção.
Orientador: Prof. Dr. Antonio Freitas Rentes.

1. Simulação. 2. Kanban. 3. MRP. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Bacharela **SELMA CRISTINA DA SILVA FERREIRA**

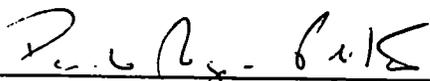
Dissertação defendida e aprovada em 09-12-1999
pela Comissão Julgadora:



Prof. Titular **JOAQUIM MOCCELLIN (Substituto)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Profa. Doutora **MARIA CREUSA BRETAS SALLES**
(Instituto de Ciências Matemáticas e Computação - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **PAULO ROGÉRIO POLITANO**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)



Prof. Associado **RENATO VAIRO BELHOT**
Coordenador da Área de Engenharia de Produção



JOSE CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Aos meus pais

Célia e Elias

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus.

Agradeço aos meus irmãos Samantha, Rafael, Rachel e à minha amiga Cristiane.

Agradeço à Laura, Paulo Henrique, Ana Paula, Fernando e Creusa.

Agradeço aos amigos Tânia, Kiko, Leo, Chiquito, Maurício, Ângela, Geléia, Zilda, Taninha, Ana Beatriz, D.Cidinha, Cláudio, Ana Cristina, Ana Paula e Anderson.

Agradeço aos professores Edmundo, Politano, Moccellin e Bremer.

Agradeço a todos os amigos e funcionários da Escola de Engenharia de São Carlos.

Agradeço à FAPESP pelo apoio financeiro.

Agradeço ao Prof. Dr. Antonio Freitas Rentes.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS _____	viii
LISTA DE TABELAS _____	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS _____	x
LISTA DE SÍMBOLOS _____	xi
RESUMO _____	xii
<i>ABSTRACT</i> _____	xiii
1. INTRODUÇÃO _____	1
2. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	
2.1 Conceituação e Classificação dos Sistemas de produção _____	6
2.2 Diferença entre Planejamento e Controle _____	8
2.3 Limitações às Tarefas de Planejamento e Controle _____	9
2.4 Estrutura do Planejamento e Controle da Produção _____	10
2.4.1 Previsão da Demanda _____	10
2.4.2 Planejamento Agregado _____	11
2.4.3 Plano Mestre de Produção _____	11
2.4.4 Planejamento das Necessidades de Materiais _____	11
2.4.5 Programação/Seqüenciamento da Produção _____	11
2.4.6 Planejamento da Capacidade _____	12
2.4.7 Emissão e Liberação das Ordens de Produção _____	12
2.4.8 Controles _____	13
3. JUST IN TIME	
3.1 Histórico _____	15
3.2. Conceitos e Estrutura Básica _____	17
3.3 Os Elementos da Produção Just in Time _____	21
3.3.1 Produção Nivelada _____	21
3.3.2 Troca Rápida de Ferramentas _____	22
3.3.3 <i>Layout</i> Celular _____	23

3.3.4 Operador Multifuncional	25
3.3.5 Melhoria nas Operações Manuais e Padronização das Operações	26
3.3.6 Qualidade Total	29
3.3.7 O Sistema Kanban	31
3.3.7.1 Tipos de Kanban	32
3.3.7.2 A Técnica do Sistema Kanban	34
3.3.7.3 Formas de Governar o Kanban	36
3.3.7.4 Dimensionamento do Número de Kanbans	38
3.3.7.5 Regras do Kanban	40
3.4 Projeto do Sistema de Produção para Just in Time	41
3.4.1 Projeto para Manufatura Just in Time	41
3.5 O Elemento Humano no Just in Time	43
3.6 Planejamento, Programação e Controle da Produção para Just in Time	44
3.7 Sincronização da Manufatura	45

4. MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING

4.1 Introdução	47
4.2 Conceitos Fundamentais para o Sistema MRP	48
4.3 Entradas no Sistema MRP	51
4.3.1 Planejamento Mestre da Produção (PMP)	51
4.3.1.1 Dados de Entrada do PMP	52
4.3.1.2 Funcionamento do PMP	55
4.3.1.2.1 Registro Básico do PMP	55
4.3.2 Lista de Materiais	57
4.3.3 Registro de Inventário	58
4.4 Mecânica do MRP	60
4.4.1 Cálculo MRP	63
4.5 Sidas do MRP	65

5. SIMULAÇÃO

5.1 Histórico e Conceito	66
5.2 Tipos de Modelo e Finalidade	66
5.3 Linguagens e Softwares de Simulação	70
5.4 Tipos Diferentes de Simulação	71
5.5 Etapas da Simulação	71
5.6 Vantagens da Simulação	79
5.7 Aplicações da Simulação	80
5.8 Simulação com JIT e MRP	80
5.8.1 Objetivos da Simulação na Manufatura	81
5.8.2 Simulação em Ambientes de Manufatura Administrativos pelo Sistema JIT	83
5.8.2.1 Estudo de um Sist. de Cartão Único com Caráter Explorativo	83
5.8.2.2 Estudo de um Sist. de Cartão Único com Caráter Comparativo	87

6. DESENVOLVIMENTO DOS CENÁRIOS KANBAN E MRP UTILIZANDO O SOFTWARE ARENA

6.1 Descrição dos Sistemas de Manufatura a serem Simulados	91
6.2 Viabilização e Implementação do Estudo dos Sistemas	105
6.3 Considerações a respeito do ARENA	105

7. DESENVOLVIMENTO DOS CENÁRIOS KANBAN E MRP UTILIZANDO A LINGUAGEM GPSS/H

7.1 Breve Histórico do GPSS/H	106
7.2 Visão Global do GPSS/H	106
7.2.1 Os Blocos GENERATE e TERMINATE	108
7.2.2 O Bloco ADVANCE	109
7.2.3 Os Blocos SEIZE e RELEASE	110
7.2.4 Os Blocos QUEUE e DEPART	111
7.2.5 A Declaração de Controle STORAGE (STORAGE CONTROL STATEMENT)	112

7.2.6 Os Blocos ENTER e LEAVE	112
7.2.7 Os Atributos Numéricos Padrões (Standard Numerical Attributes – SNAs)	113
7.2.8 Os Blocos TRANSFER e TEST	114
7.2.9 As Declarações de Controle (Controls Statements) SIMULATE, START e END	116
7.2.10 As Ampervariáveis	117
7.2.10.1 Declaração de Ampervariáveis Reais e Inteiras	117
7.2.10.2 Declaração de uma Ampervariável para Caracteres	118
7.2.10.3 A Declaração de Controle LET e o Bloco BLET	119
7.2.11 Números Pseudo-Randômicos	119
7.2.11.1 Uso de Streams diferentes no GPSS/H	121
7.2.11.2 Funções do GPSS/H para Distribuição de Variáveis Randômicas	122
7.2.11.2.1 A Função RVEXPO	122
7.2.11.2.2 A Função RVNORM	122
7.2.11.2.3 A Função RVTRI	122
7.3 Desenvolvimento do Modelo Kanban	123
7.4 Programação do Modelo Kanban no GPSS/H	125
7.5 Resultados da Simulação do Modelo Kanban	126
7.6 Desenvolvimento do Modelo MRP	127
7.7 Programação do Modelo MRP no GPSS/H	131
7.8 Resultados da Simulação do Modelo MRP	131
7.9 Resultados e Análises	132
8. CONCLUSÃO	136
ANEXO	139
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Sistema Toyota de Produção	20
FIGURA 2 – Arranjo Físico Celular	24
FIGURA 3 – Estrutura das Atividades de Melhoria	27
FIGURA 4 – Esquema Simplificado do Fluxo Kanban	34
FIGURA 5 – Quadro Comparativo entre Sistema Kanban e Sistema Tradicional	41
FIGURA 6 – Relações entre Itens “Pais” e Itens “Filhos”	50
FIGURA 7 – Combinando Carteira de Pedidos e Previsões	54
FIGURA 8 – A importância da previsão para diferentes tipos de empresa	55
FIGURA 9 – Registro Básico do PMP	56
FIGURA 10 – <i>Time phasing</i> da Posição de um Item	59
FIGURA 11 – Registro Básico Período a Período do MRP	60
FIGURA 12 – O Cálculo das Necessidades Líquidas no MRP	64
FIGURA 13 – Formas de se Estudar um Sistema	68
FIGURA 14 – Estrutura da Caneta	92
FIGURA 15 – Lista Técnica da Caneta	93
FIGURA 16 – Modelo do Sistema Kanban no ARENA	98
FIGURA 17 – Kanban	100
FIGURA 18 – <i>Layout</i> da Fábrica	101
FIGURA 19 – Linha Produtiva	124

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Estações de Manufatura	99
TABELA 2 – Estações de Montagem	99
TABELA 3 – Tempos de Processamento e de <i>Set up</i>	102
TABELA 4 – Quantidade de Canetas Produzidas	102
TABELA 5 – Estações de Montagem	103
TABELA 6 – Estações de Manufatura	104
TABELA 8 – Números Aleatórios	131
TABELA 9 – Planejamento para o Recurso 1	132
TABELA 10 – Planejamento para o Recurso 2	133
TABELA 11 – Resultados do MRP	137

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMT – Advanced Manufacturing Templates

DFD – Diagrama de Fluxos de Dados

EI – Estoque Intermediário

FCFS – First Come First Served

GPSS/H – General Purpose Simulation System

IBM – International Business Machines

JIT – *Just in Time*

MRP – *Material Requirements Planning*

MRP II – *Manufacturing Resources Planning*

MTP – Menor Tempo de Processo

NQA – Nível de Qualidade Aceitável

PA – Produto Acabado

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PMP – Planejamento Mestre de Produção

TCP – Tempo para Completar o Pedido

WIP – *Work in Process*

LISTA DE SÍMBOLOS

- A – Número de Unidades de Peças de Cada Contenedor
A – Quantidade em Mãos (Estoque que está Fisicamente na Prateleira)
B – Quantidade Encomendada
C – Quantidade Necessária
c.v. – Coeficiente de Variação
D – Demanda
n – Número de Cartões
n – Número da Amostra
 s_x – Desvio Padrão
Te – Tempo de Espera
Tp – Tempo de Processo
Xi – Primeiro Número da Amostra
 \bar{x} – Média da Amostra
X – Quantidade Disponível
 α – Fator de Segurança
 α – Intervalo de Confiança

RESUMO

A manufatura de bens e serviços pode ser encontrada em todos os tipos de atividade econômica e caracteriza toda a transformação de matéria-prima em produtos finais para serem disponibilizados para o consumidor. A estratégia, neste próximo século, será a visão antecipada das mudanças bem como o respectivo preparo e proações, colocando a empresa numa situação de vantagem sobre as demais.

Este trabalho tem como objetivo mostrar o desenvolvimento de dois modelos didáticos de um sistema de manufatura de canetas para auxílio no aprendizado de duas abordagens, uma é o sistema Kanban e a outra o sistema MRP.

A técnica de simulação é utilizada no desenvolvimento dos modelos, sendo o pacote de simulação ARENA e a linguagem de simulação GPSS/H as ferramentas escolhidas para a confecção de ambos modelos.

O ARENA permitiu a visualização gráfica dos painéis Kanban por oferecer animação com a movimentação dos materiais pela fábrica, o processamento dos produtos e preenchimento e esvaziamentos dos contenedores.

O GPSS/H possibilitou a demonstração do funcionamento do Plano Mestre de Produção; as linguagens de simulação facilitam o desenvolvimento e execução da simulação dos sistemas mais complexos.

Palavras-Chave: Simulação, Kanban e MRP.

ABSTRACT

The service and goods manufacturing can be found in all economic activity types and characterizes the transformation of raw products into finished products to be available to the customer. In the next century, the strategy will be the previous view prepared enabling the enterprise in a more competitive situation.

The aim of the present work is to develop 2 didactic models of a pen manufacturing system in order to support the learning of 2 approaches – one of them is the Kanban system and the other is the MRP system.

The simulation technique is used in the model's development. The simulation package ARENA and the simulation language GPSS/H are the selected tools to make the Kanban and MRP models.

ARENA made the graphical view possible by offering animation with the goods movement through the factory, the goods processing, filling and fluttering the containers.

GPSS/H demonstrated the Master Production Schedule; the simulation languages facilitate the development and execution of the most complex systems simulation.

Keywords: Simulation, Kanban and MRP.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A manufatura de bens e serviços pode ser encontrada em todos os tipos de atividade econômica e caracteriza toda a transformação de matéria-prima, em seus diversos estados, em produtos finais para serem disponibilizados para o consumidor.

Até 1960, a manufatura caracterizou-se pelo aumento da produtividade, mecanização/automação e produção em alta escala de produtos padronizados. Neste período, havia uma baixa diversificação de produtos, uma taxa alta de divisão de trabalho e tamanho de lote médio ou grande.

Na década de 70, as mudanças na manufatura são fortemente sentidas: produtos com preços mais baixos, maior qualidade e variedade. Entre os fatores causadores destas mudanças destacam-se as tendências de mercado, as alterações das condições político-econômicas (aumento da concorrência, formação de blocos comerciais) e rápido desenvolvimento tecnológico.

As empresas, ao perceberem estímulos externos, procuraram se adaptar às novas regras pois isso significava condições de sobrevivência e crescimento do sistema de manufatura. Nos anos 90, as empresas tiveram de investir, além de preços baixos e altas flexibilidade e qualidade, no fator inovação para se diferenciar das demais. A inovação esteve presente na estrutura da empresa (novos processos, administração eficiente) e também nos seus produtos, para que fossem únicos e diferenciados.

Devido ao aumento da concorrência e o mercado cada vez mais exigente, observou-se nesta década, uma disputa acirrada entre as empresas por uma fatia maior no mercado. A estratégia, neste próximo século, será a visão antecipada das mudanças bem como o respectivo preparo e proações, colocando a empresa numa situação de vantagem sobre as demais.

Nas organizações dos anos 90, os sistemas de manufatura apresentaram-se bastante complexos, envolvendo uma série de atividades independentes e dependentes entre si. A sua complexidade foi tanto maior quanto mais complexos foram seus produtos e suas respectivas estruturas de manufatura vinculadas a esses produtos.

Os fatores causadores das mudanças no mercado como a complexidade, a diversificação e a variação de quantidade de produtos e introdução de novos determinaram enorme influência nos sistemas de manufatura. Os sistemas de manufatura são um sistema de informações cujo nível de integração depende da sinergia do fluxo de informação, afirma AGOSTINHO (1990).

Neste trabalho, um sistema fictício de manufatura de canetas é proposto e a técnica de simulação é utilizada para ilustrar seu funcionamento. A simulação, segundo SHANNON (1975), é o processo de criar um modelo de um sistema real ou proposto e conduzir experimentos neste modelo, com o propósito de entender o comportamento deste sistema ou avaliar diversas estratégias para a sua operação. Tem como finalidade permitir ao analista tirar conclusões sobre novos sistemas sem precisar construí-los ou fazer alterações em sistemas já existentes sem perturbá-los; possibilitar aos gerentes visualizar a operação de um sistema novo ou existente, sob várias condições; analisar as interações entre sistemas e entender como vários componentes interagem entre si e como estes afetam todo o desempenho do sistema.

Através da simulação, é possível obter discernimento sobre a natureza de um processo, identificar problemas específicos ou áreas problemáticas dentro de um sistema, desenvolver políticas ou planos específicos para um processo, testar novos conceitos e/ou sistemas antes de suas implementações e aumentar sua eficiência.

O objetivo deste trabalho é desenvolver dois modelos didáticos de um sistema de manufatura de canetas para auxílio no aprendizado de duas abordagens, uma é o sistema Kanban e a outra o sistema MRP (*Material Resources Planning*). A técnica de simulação foi utilizada para ilustrar graficamente os sistemas bem como permitir o processo de tomada de decisão uma vez que a simulação fornece cenários com resultados variados.

O modelo do sistema Kanban enfoca o aprendizado de suas potencialidades a partir de duas situações básicas: a visualização explícita dos painéis Kanban e do transporte do material pela fábrica. O modelo do sistema MRP enfoca o aprendizado do Plano Mestre de Produção e busca apresentar os conceitos ligados ao cálculo de necessidades de materiais e início de produção. O processo de tomadas de decisões são semelhantes em ambos sistemas.

Uma outra aplicação está relacionada às possibilidades de análise de diversos resultados que podem ser obtidos através da manipulação dos valores das variáveis contidas nos modelos, como por exemplo, número de cartões no painel, tempo de *set up*, variações de demanda, flutuações nos tempos operacionais e níveis de balanceamento. Assim, é possível estudar o impacto que a variação de algum dos parâmetros dos modelos podem trazer em termos de volume de produção, níveis de estoque entre outros e tomar decisões baseadas nestes resultados.

Visando o objetivo didático de aprendizado dos sistemas Kanban e MRP, a simulação foi escolhida uma vez que possibilita o processo de tomada de decisão. Neste trabalho foram utilizados um pacote de simulação – ARENA e uma linguagem de simulação – GPSS/H para simular os modelos propostos.

A ampla utilização do computador nas universidades como auxílio ao aprendizado viabilizou o uso da técnica da simulação, antes restrito a especialistas de algumas áreas como, por exemplo, a espacial. O uso desta técnica propõe uma inovação no ensino tradicional, que tem no professor o seu elemento central e é a partir deste que todo o processo de ensino é orientado.

Em questão de aprendizado, GIANESI & CORRÊA (1992) afirmam que o atingimento deste possui seis níveis: conhecimento, entendimento, aplicação, análise, síntese e avaliação. As aulas expositivas conseguem atingir apenas o conhecimento e o entendimento, sendo que o auxílio de estudos de caso podem contribuir um pouco mais. Entretanto os outros quatro níveis, que são necessários para alcançar os objetivos de uma formação gerencial completa, necessitam de uma ferramenta mais dinâmica que coloque o aluno na posição de tomador de decisões na empresa e as implicações destas decisões. Tal ferramenta deve permitir a simulação de decisões alternativas para a avaliação dos diferentes resultados.

O melhor aprendizado, segundo SENGE (1990), é adquirido através da experiência direta e também da tentativa e do erro. Num experimento quando uma ação é realizada e as suas respectivas conseqüências são observadas e, em seguida, uma nova ação diferente da anterior é feita.

Uma maneira relativamente simples de superar as limitações e o dilema do processo de aprendizagem através da experiência direta é a construção de cenários e o uso de micromundos. No que se refere a exercícios de cenários hipotéticos o propósito deles não é a predição, afirma SENGE (1995). Através deles, podem-se representar diversos futuros potenciais, dos quais possivelmente nenhum deles acontecerá mas gerarão no indivíduo a consciência do efeito da força de suas decisões atuando no presente.

Exercitar o planejamento de cenários hipotéticos seria como uma oficina para discussão, organização e exploração de aspectos e fenômenos que, de outra forma, não seriam considerados pela natureza de nossa percepção dos fatos.

A técnica de cenários, segundo NAKAGAWA (1995), é bastante recente e consiste em fazer pesquisas, análises, projeções e especulações a respeito de eventos futuros e suas interações com as expectativas e impactos nas diversas áreas e resultados da empresa.

A apresentação deste trabalho está estruturada em dois blocos – a revisão teórica e a simulação dos dois cenários. A revisão teórica é apresentada nos capítulos 1,2,3,4,5 e 6 e os cenários simulados no ARENA e no GPSS/H são apresentados nos capítulos 7 e 8, respectivamente.

- Capítulo 1: Este capítulo apresenta o trabalho, seus objetivos e sua estrutura.
- Capítulo 2: Este capítulo aborda os conceitos dos sistemas de produção e de planejamento e controle da produção.
- Capítulo 3: Os conceitos do sistema JIT (*Just inTime*) e do sistema Kanban são abordados neste capítulo.

- Capítulo 4: São apresentados os conceitos do sistema MRP (*Material Requirements Planning*).
- Capítulo 5: Os conceitos de simulação e suas aplicações são abordados neste capítulo.
- Capítulo 6: Neste capítulo, alguns cenários de JIT e MRP já simulados são apresentados.
- Capítulo 7: Os cenários do sistema Kanban e MRP são simulados no pacote de simulação ARENA.
- Capítulo 8: São apresentados os cenários Kanban e MRP na linguagem de simulação GPSS/H.
- Capítulo 9: As conclusões e considerações finais são apresentadas neste capítulo.

CAPÍTULO 2

PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta uma revisão teórica sobre o planejamento e controle da produção. Para tanto, inicia-se com a definição de sistemas de produção, em seguida apresenta-se a classificação destes sistemas e a estrutura de informações. Logo após, discute-se a conceituação básica, as atividades e as limitações do Planejamento e Controle da Produção (PCP).

2.1 Conceituação e Classificação dos Sistemas de Produção

Os sistemas de produção são definidos como um conjunto de elementos que se interrelacionam e atuam através de um processo organizado, visando a produção de alguma mercadoria ou serviço, cujo valor comercial ultrapasse o custo total para obtê-los, afirma AGOSTINHO (1985). Os sistemas de produção podem ser classificados de várias maneiras e, dentre elas, propõe-se uma classificação básica para esses sistemas: **sistemas contínuos** e **sistemas intermitentes**.

Os sistemas contínuos caracterizam-se pela produção de poucas famílias de produtos similares, em grande escala. As operações são repetitivas; o material se move com pequenas interrupções de uma máquina para outra até chegar ao estoque de produtos acabados. São as indústrias de processo (indústrias químicas, plásticos, produtos de petróleo, aço, cimento etc.) afirma SILVA (1994).

Nos sistemas intermitentes tem-se a manufatura de uma gama variada de produtos e, conseqüentemente, os equipamentos apresentam variações freqüentes de trabalho. Esses sistemas

podem ser identificados com a produção discreta de itens como: carros, computadores, máquinas-ferramentas, bem como os itens que os compõem.

Os sistemas de produção podem ser divididos, baseado na quantidade de produtos fabricados, em :

- produção *job shop*: caracteriza-se pelo baixo volume de produção, pequeno tamanho do lote, freqüentemente único. Atende às especificações dos consumidores e, portanto, o roteiro de fabricação se modifica conforme o produto. Esta modificação causa uma grande variedade no tipo de trabalho que deve ser executado, por isso os equipamentos devem ser flexíveis e de uso geral para viabilizar esta variedade de trabalho. Como exemplo pode-se citar: veículos espaciais, aviões, máquinas-ferramentas, equipamentos e ferramentas especiais e protótipos.

Nos sistemas *job shop*, observam HAYES & WHEELWRIGHT (1979), os equipamentos raramente são usados em 100% de sua capacidade, os trabalhadores têm uma faixa mais ampla de habilidades e o tempo necessário para transportar os materiais através da fábrica é muito maior do que os tempos gastos nos processos.

- produção em lote: caracteriza-se pela manufatura de lotes de tamanho médio de um mesmo item ou produto. Os lotes podem ser produzidos somente uma vez ou, em intervalos regulares. O objetivo da produção em lote é satisfazer a demanda contínua do cliente por um item. Neste sistema a capacidade produtiva é maior do que a demanda, causando assim a produção de inventários.

O equipamento de manufatura utilizado é de uso geral mas projetado para altas taxas de produção. Como exemplo pode-se citar: equipamentos industriais, mobília, peças componentes para inúmeras montagens.

- produção em massa: caracteriza-se por uma alta taxa de produção, pela máxima utilização dos equipamentos especializados para manufatura de produtos padronizados e altas taxas de demanda. Na produção em massa, a habilidade de produção é transferida do operador para a máquina, conseqüentemente, o nível de habilidade no trabalho neste tipo de produção tende a ser menor que na produção em lote ou no sistema job shop. A produção em massa pode ser dividida em duas categorias:

- produção em fluxo descontínuo: produção em massa de peças simples, com altas taxas de demanda, em máquinas-ferramentas altamente padronizadas. Na produção em massa, a demanda e a quantidade produzida são aproximadamente iguais. Como exemplo tem-se automóveis, alguns eletrodomésticos, itens de ferragens (parafusos, porcas, pregos) e muitos produtos plásticos;

- produção em fluxo contínuo: o termo sugere o fluxo contínuo do produto como em refinarias de óleo, processos contínuos em indústrias químicas e indústria alimentícia, mas também se aplica a linhas de produção automatizadas para produção discreta de itens complexos (blocos de motor automotivo) e, linha de montagem manual de produtos complexos.

2.2 Diferença entre planejamento e controle

O propósito do planejamento da produção é, como o próprio nome sugere, planejar os recursos físicos que serão usados em um empreendimento para produzir bens ou serviços. Segundo BURBIDGE (1981), o controle da produção pode ser descrito como a orientação de eventos para que se sigam planos.

Um plano é uma formalização de o que se espera que aconteça em determinado evento no futuro. Um plano não necessariamente diz o que acontecerá realmente, mas declara a intenção do que aconteça. Os planos são baseados em expectativas, entretanto isso representa esperanças em relação ao futuro. Quando operações tentam implementar planos, os fatos nem sempre ocorrem como esperado uma vez que os consumidores mudam de idéia em relação a quantidade, tipo e data de entrega dos produtos. Os fornecedores nem sempre fazem entregas pontualmente, as máquinas podem quebrar, os funcionários podem faltar ao trabalho, entre outros. Qualquer um destes motivos podem fazer com que o plano não seja levado adiante. Há diversas variáveis que podem colaborar para a não execução de um plano, por isso SLACK et al. (1996) afirmam que controle é o processo de lidar com estas variáveis. O controle também faz os ajustes que permitem que a operação atinja os objetivos que o plano definiu, ainda que as suposições feitas pelo plano não se confirmem.

2.3 Limitações às tarefas de planejamento e controle

As limitações estão classificadas em quatro grupos:

- limitações de custos: os produtos e serviços devem ser produzidos dentro de custos determinados.
- limitações de capacidade: os produtos e serviços devem ser produzidos dentro de limites de capacidade projetados para a operação.
- limitações de tempo: os produtos e serviços devem ser produzidos dentro de um intervalo de tempo, no qual eles ainda têm valor para o consumidor.
- limitações de qualidade: os produtos e serviços devem ter conformidade aos dados limites de tolerância projetados para o produto ou serviço.

2.4 Estrutura do planejamento e controle da produção

O sistema de planejamento e controle da produção deve ser realizado em etapas sucessivas partindo de um todo para o particular, ou seja, começa pela definição de um objetivo depois elabora-se um plano em unidades maiores até atingir uma sucessão de níveis mais detalhados. RESENDE & SACOMANO (1991) propõem uma estrutura do planejamento composta pelos seguintes elementos:

2.4.1 Previsão da demanda

No longo prazo, os gerentes de produção criam planos relativos ao que eles pretendem fazer, quais os recursos necessários e quais objetivos devem ser atingidos. O enfoque está mais no planejamento do que no controle porque existe pouco a ser controlado. Os gerentes usarão previsões da demanda provável, descritas em termos agregados.

O planejamento e controle de médio prazo concentra-se mais em detalhes, ele olha para frente para avaliar a demanda global que a operação deve atingir de uma forma parcialmente desagregada. Os recursos terão que ser definidos em termos mais desagregados, por exemplo: categorias e quantidades diferentes de pessoal deverão ser identificadas para cada setor de trabalho.

No planejamento e controle de curto prazo, a maior parte dos recursos terão sido definidos e dificilmente grandes mudanças serão feitas. Isso não descarta a hipótese de se fazer intervenções caso necessário; a demanda será avaliada de forma totalmente desagregada. Ao efetuar intervenções de curto prazo no plano, os gerentes de produção procuram equilibrar a qualidade, a rapidez, a confiabilidade, a flexibilidade e os custos das operações. É muito difícil que haja tempo para fazer cálculos detalhados dos efeitos das decisões de planejamento e controle de curto prazo sobre todos estes objetivos, entretanto uma compreensão geral apoiará a tomada de decisões.

2.4.2 Planejamento Agregado

O planejamento agregado da produção consiste em um plano de médio prazo (geralmente de 6 a 24 meses) que estabelece os níveis gerais de produção, inventário e mão-de-obra para determinado grupo de produtos. Portanto, neste nível os produtos a serem fabricados são agregados em famílias de itens semelhantes.

2.4.3 Plano Mestre de Produção

O Plano Mestre de Produção (PMP) estabelece o plano geral de produção para os próximos períodos, isto é, ele determina quais os produtos e em que quantidades deverão ser fabricados em um determinado período de tempo. O PMP direciona as operações em um curto prazo de tempo, sendo utilizado tanto no sistema *Just in Time* (JIT) como no *Material Requirements Planning* (MRP).

2.4.4 Planejamento das Necessidades de Materiais

O Planejamento das Necessidades de Materiais efetua o levantamento completo dos materiais necessários para atender o plano de produção. O resultado é um plano minucioso de aquisição por meio de fabricação ou compra, envolvendo todas as matérias-primas e componentes prontos com as quantidades e datas de término de fabricação ou recebimento.

2.4.5 Programação/Seqüenciamento da Produção

A programação no nível de liberação da produção é uma atividade de curto prazo e determina para cada ordem de fabricação o momento de iniciar a produção bem como quanto tempo é

preciso trabalhar em cada uma das operações planejadas. Isto é possível conhecendo-se o “*lead time*” de cada componente.

2.4.6 Planejamento da Capacidade

A tarefa principal do Planejamento da Capacidade é calcular a carga de cada centro de trabalho para cada período no futuro com o objetivo de fornecer à administração informações que serão necessárias para ter conhecimento prévio dos gargalos, promover ajustes de recursos, estabelecer a programação de curto prazo e estimar prazos variáveis para futuras encomendas.

Alguns fatores são considerados para realizar o Planejamento da Capacidade: quantidade de máquinas, mão-de-obra, turnos de trabalho para obter-se a capacidade máxima dos centros produtivos.

2.4.7 Emissão e Liberação das Ordens de Produção

O sistema de emissão de ordens é um sistema de informação que transforma as necessidades dadas no Plano Mestre de Produção em necessidades em forma de itens componentes. Uma ordem de produção é representada por um conjunto de documentos que orientam todo o processo produtivo, desde as informações de matéria-prima até o acabamento final.

Há dois documentos importantes encontrados em uma ordem de produção: a folha de processos e a lista de materiais.

A folha de processo lista de forma ordenada e descreve as sequências operacionais, especificando seus tempos unitários previstos assim como os dispositivos e ferramentas a serem utilizados na fabricação do item.

A lista de materiais traz os materiais a serem utilizados na produção de uma peça ou conjunto, a sequência de montagem e a origem de cada material. O sistema MRP utiliza a emissão de ordens de liberação enquanto no sistema JIT a produção é controlada pelo Kanban.

2.4.8 Controles

Há três tipos principais de controle, segundo BURBIDGE (1990), que são utilizados para orientar os eventos de acordo com os planos elaborados:

- **Carregamento:** o objetivo inicial do carregamento é assegurar que os programas e ordens emitidos pelo controle da produção possam ser executados. O objetivo secundário é fornecer os dados necessários para mudança de capacidade (exemplo: maior quantidade de homens ou máquinas) e mudanças de carga (exemplo: subcontratação).
- **Acompanhamento:** são controles que buscam direcionar os eventos para aquilo que foi definido nos planos ou ordens. Mede-se, então, o que foi obtido na realidade e compara-se com o planejado e a seguir passa-se as informações sobre as diferenças entre o real e o planejado aos elementos da empresa para que as ações corretivas sejam tomadas.
- **Controle de Inventários:** os estoques em uma fábrica representam certa parte do capital aplicado à produção e o controle de inventários é utilizado para controlar este nível de investimento através da comparação do investimento atual com o montante disponível de capital para este fim. O controle da produção está intimamente relacionado com o controle de inventários, por este motivo ele é tratado como parte da função do controle de produção. É importante mencionar também que o controle de inventários tem ligações fortes com o setor financeiro.

A causa principal do excesso de estoque reside na crença de que a produção é mais econômica quando todas as máquinas estão trabalhando em tempo integral. Na realidade, apenas as poucas máquinas gargalos podem trabalhar economicamente o tempo inteiro pois se as máquinas

subcarregadas trabalharem de forma contínua haverá excesso de estoque. A manutenção destes estoques representam custos e eventualmente se tornarão obsoletos.

CAPÍTULO 3

JUST IN TIME

Este capítulo apresenta os conceitos e a estrutura básica do sistema *Just in Time* (JIT) e aborda o sistema Kanban, seu funcionamento e como ele é utilizado no sistema JIT.

3.1 Histórico

Após a Segunda Guerra Mundial, a produtividade da indústria japonesa era aproximadamente 10% da dos Estados Unidos. A indústria automobilística, altamente desenvolvida nos Estados Unidos e Europa, era uma das mais subdesenvolvidas no Japão, afirma MOURA (1989).

Em 1950 Eiji Toyoda, engenheiro hábil e ambicioso, visitou a fábrica Rouge da Ford em Detroit, até então o maior e mais eficiente complexo fabril do mundo. Depois de ter estudado esta fábrica, Eiji concluiu que era possível melhorar o sistema de produção da Toyota entretanto, copiar e aperfeiçoar o modelo americano não seria suficiente. Voltando ao Japão, Eiji e Taiichi Ohno (pioneiro na introdução deste sistema na Toyota), chegaram a conclusão de que a produção em massa nunca funcionaria no Japão e, a partir daí, nascia o que a Toyota veio a chamar de sistema de produção Toyota.

O sistema de “puxar” a produção a partir da demanda, produzindo em cada etapa apenas os itens necessários, nas quantidades necessárias e no momento necessário, ficou conhecido no Ocidente como sistema Kanban. Este nome é dado aos cartões utilizados para autorizar a produção e a movimentação de itens, no decorrer do processo produtivo.

O objetivo fundamental do sistema JIT, segundo CORRÊA & GIANESI (1996), é a melhoria contínua do processo produtivo. Uma das formas de se atingir esse objetivo é a redução de

estoques, que tendem a esconder problemas. Os estoques normalmente são utilizados para evitar descontinuidades do processo produtivo, diante de problemas de produção que podem ser classificados em três grandes grupos:

- **Problemas de qualidade:** quando alguns estágios do processo produtivo apresentam problemas de qualidade, gerando refugo de forma incerta, o estoque colocado entre estes estágios e os posteriores permite que estes últimos possam trabalhar continuamente, sem sofrer com as interrupções que ocorrem em estágios anteriores. Dessa forma, o estoque gera independência entre os estágios do processo produtivo.
- **Problemas de quebra de máquina:** quando uma máquina pára por problemas de manutenção, os estágios posteriores do processo que são “alimentados” por esta máquina teriam que parar, caso não houvesse estoque suficiente para que o fluxo de produção continuasse, até que a máquina fosse reparada e entrasse em produção normal novamente. Nessa situação, o estoque também gera independência entre os estágios do processo produtivo.
- **Problemas de preparação de máquina:** quando uma máquina processa operações em mais de um componente ou item, é necessário preparar a máquina a cada mudança de componentes a ser processado. Esta preparação representa custos referentes ao período inoperante do equipamento, à mão-de-obra requerida na operação de preparação, à perda de material no início da operação, entre outros. Quanto maiores estes custos, maior tenderá a ser o lote a ser executado, para que estes custos sejam rateados por uma quantidade maior de peças, reduzindo assim, o custo por unidade produzida. Lotes grandes de produção geram estoques, pois a produção é executada antecipadamente à demanda, sendo consumida por esta em períodos subseqüentes.

O estoque assume o papel de um investimento necessário quando problemas como os acima relacionados estão presentes no processo produtivo. Um dos objetivos do JIT é reduzir os

estoques, para que os problemas fiquem visíveis e possam ser eliminados através de esforços priorizados e concentrados.

Através dessa prática o sistema produtivo alcança melhores índices de qualidade, maior confiabilidade de seus equipamentos e fornecedores e maior flexibilidade de resposta, principalmente através da redução dos tempos de preparação de máquinas, possibilitando a produção de lotes menores e mais adequados à demanda do mercado.

3.2 Conceitos e Estrutura Básica

O sistema JIT é definido por alguns autores como um sistema de manufatura cujo objetivo é otimizar os processos e procedimentos através da redução contínua de desperdícios. Integrar e otimizar o sistema de manufatura é um processo constante em uma empresa administrada pelo sistema JIT, à medida que ela evolui com o desenvolvimento de novos mercados, novos produtos e processos mais eficientes, afirma LUBBEN (1989).

A eliminação de desperdícios consiste na análise de todas as atividades realizadas na fábrica e dispensa daquelas que não agregam valor à produção. É preciso questionar todos os passos da manufatura, pois os lucros de uma empresa devem ser obtidos através da otimização dos processos e não através dos fornecedores ou operadores, afirma GODDARD (1986). São identificadas sete categorias de desperdícios:

- **Desperdício de superprodução:** o JIT considera um desperdício a produção antecipada à demanda, para o caso de os produtos serem requisitados no futuro. A produção antecipada, isto é, maior do que o necessário no momento, provém de problemas e restrições do processo produtivo, tais como: altos tempos de preparação de equipamentos, induzindo à produção de grandes lotes; incerteza da ocorrência de problemas de qualidade e confiabilidade de equipamentos, levando a produzir mais do que o necessário;

falta de coordenação entre as necessidades (demanda) e a produção, em termos de quantidades e momentos; grandes distâncias a percorrer com o material, em função de um arranjo físico inadequado, levando à formação de lotes para a movimentação. Sendo assim, a filosofia JIT propõe que se produza somente o que é necessário no momento e, para isso, que se reduzam os tempos de *setup*, que se sincronize a produção com a demanda, que se compacte o *layout* da fábrica, e assim por diante.

- **Desperdício de espera:** refere-se ao material que está esperando para ser processado, formando filas que visam garantir altas taxas de utilização dos equipamentos. A filosofia JIT enfatiza o fluxo de materiais e não as taxas de utilização dos equipamentos, os quais somente devem trabalhar se houver necessidade. A sincronização do fluxo de trabalho e o balanceamento das linhas de produção contribuem para a eliminação deste tipo de desperdício.
- **Desperdício de transporte:** a atividade de transporte e movimentação de materiais não agregam valor ao produto produzido e é necessária devido a restrições do processo e das instalações, que impõem grandes distâncias a serem percorridas pelo material ao longo do processamento. As atividades de transporte e movimentação são consideradas como desperdícios de tempo e recursos e devem ser eliminadas ou reduzidas ao máximo, através da elaboração de um arranjo físico adequado, que minimize as distâncias a serem percorridas. Muita ênfase tem sido dada às técnicas de armazenagem e movimentação de materiais, enquanto o importante é eliminar as necessidades de armazenamento, reduzindo os estoques e eliminar a necessidade de movimentação, através da redução das distâncias. A partir destas medidas, racionaliza-se então o transporte e a movimentação de materiais que não puderem ser eliminados.
- **Desperdício de processamento:** no próprio processo produtivo pode estar havendo desperdícios que podem ser eliminados. Normalmente, a preocupação dos gerentes é como fazer algo mais rápido, sem antes questionar se aquilo deve realmente ser feito. Nesse

sentido torna-se importante a aplicação das metodologias de engenharia e análise de valor, que consistem na simplificação ou redução do número de componentes ou operações necessários para produzir determinado produto. Qualquer elemento que adicione custo e não valor ao produto é candidato a investigação e eliminação.

- **Desperdício de movimento:** estes desperdícios estão presentes nas mais variadas operações que se executam na fábrica. A filosofia JIT adota as metodologias de estudo de métodos e estudo do trabalho, visando alcançar economia e consistência nos movimentos. A economia dos movimentos aumenta a produtividade e reduz os tempos associados ao processo produtivo. A consistência contribui para o aumento da qualidade. A importância das técnicas de estudo de tempos e métodos é justificada, pois o JIT é um enfoque essencialmente de “baixa tecnologia”, apoiando-se em soluções simples e de baixo custo, ao invés de grandes investimentos em automação. Mesmo que a fábrica seja automatizada, os movimentos devem ser aprimorados para, somente então, mecanizar e automatizar; caso contrário, corre-se o risco de automatizar o desperdício.
- **Desperdício de produzir produtos defeituosos:** problemas de qualidade geram os maiores desperdícios do processo. Produzir produtos defeituosos significa desperdiçar materiais, disponibilidade de mão-de-obra, disponibilidade de equipamentos, movimentação de materiais defeituosos, armazenagem de materiais defeituosos, inspeção de produtos, entre outros. O processo produtivo deve ser desenvolvido de maneira tal que previna a ocorrência de defeitos, para que se possam eliminar as inspeções. Os defeitos não devem ser aceitos e não devem ser gerados. Em regra, é comum nas fábricas que adotaram a filosofia JIT a utilização de “dispositivos à prova de falhas”, os quais procuram evitar os erros comuns causados pelo homem.
- **Desperdício de estoques:** os estoques, além de ocultarem outros tipos de desperdício, significam desperdícios de investimento e espaço. A redução dos desperdícios de estoque deve ser feita através da eliminação das causas geradoras da necessidade de manter estoques. Eliminando-se todos os outros desperdícios, reduz-se, por consequência, os

desperdícios de estoque. Isto pode ser feito reduzindo-se os tempos de preparação de máquinas e os *lead times* de produção, sincronizando-se os fluxos de trabalho, reduzindo-se as flutuações de demanda, tornando as máquinas confiáveis e garantindo a qualidade dos processos.

O sistema JIT está inserido no Sistema Toyota de Produção, representando um de seus pilares. A figura 1 ilustra a estrutura baseada no sistema de produção da Toyota:

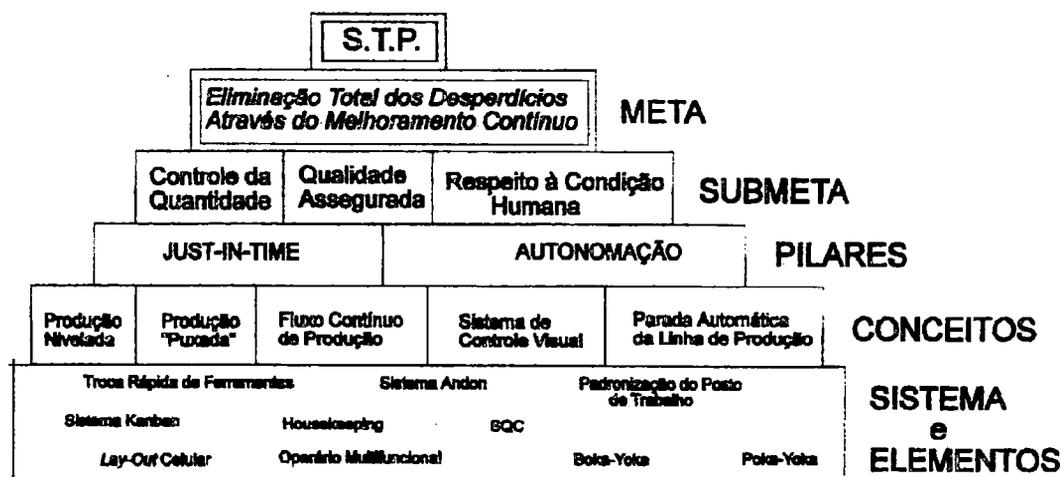


FIGURA 1 - Sistema Toyota de Produção

Fonte: MONDEN (1985)

A garantia do objetivo principal está fundamentado nas seguintes submetas:

- Controle de Qualidade: relaciona-se à capacidade de adaptação do sistema às flutuações diárias e mensais da demanda em termos de quantidade e variedades.
- Qualidade Assegurada: garante que cada processo será suprido apenas com boas unidades.
- Respeito à Condição Humana: deve ser cultivado uma vez que o sistema utiliza o recurso humano para atingir seus objetivos.

Para cumprir seu objetivo, o Sistema de Produção da Toyota está baseado em dois grandes pilares: o *Jidoka* - controle autônomo dos defeitos, onde o próprio operador interrompe a operação caso haja alguma anomalia e o *Just in Time* - produção das unidades necessárias nas quantidades necessárias no tempo necessário.

3.3 Os Elementos da Produção Just in Time

A sustentação dos pilares, de acordo com MONDEN (1985) está baseada em vários conceitos e elementos que contribuem para a realização da idéia básica do sistema, entre eles:

- Produção Nivelada.
- Troca Rápida de Ferramenta.
- *Layout* Celular.
- Operador Multifuncional.
- Melhoria do Manual de Informações e Padronização das Operações.
- Qualidade Total.
- Sistema Kanban.

3.3.1 Produção Nivelada

O propósito básico do sistema de produção da Toyota é aumentar os lucros pela redução dos custos, que é possível através da redução dos desperdícios, principalmente dos inventários desnecessários. Atinge-se este propósito pela produção no momento exato (*just in time*). Este tipo de produção é adaptável para atender às variações da demanda, sendo assim, os inventários excessivos de produtos acabados podem ser eliminados. Esta adaptação é chamada de produção nivelada na Toyota.

A condição mais importante para a operação da produção JIT é o nivelamento da produção. Segundo este conceito uma linha de produção não deve mais manufaturar um único tipo de

produto em grandes lotes mas sim produzir muitas variedades cada dia, respondendo a variação da demanda.

No sistema de “puxar” a produção o processo posterior retira as peças necessárias no processo anterior nas quantidades necessárias e no momento necessário. Se o processo posterior retirar peças de um modo flutuante de acordo com o tempo ou quantidade, o processo anterior deve então preparar mais inventário, mão-de-obra e equipamentos necessários para se adaptar aos picos nas variações de quantidades de demanda.

Deve haver um esforço para minimizar a flutuação da produção na linha de montagem final, evitando-se assim grandes variações em todas as linhas de produção.

A produção nivelada minimiza a variação na quantidade retirada de cada peça produzida em cada submontagem, possibilitando a produção de cada peça em velocidade constante ou quantidade fixa por hora nas submontagens.

3.3.2 Troca Rápida de Ferramentas

A redução dos tempos de preparação das máquinas é muito importante para o desenvolvimento da flexibilidade dos equipamentos na produção JIT, pois esta última possibilita o atendimento às variações do mercado produzindo-se lotes pequenos com uma grande variedade de produtos, sem perder a competitividade.

Através da redução do tempo de troca de ferramentas é possível minimizar o lote de produção, reduzindo-se assim, os estoques de produtos intermediário e final. As maiores vantagens da troca de ferramentas são a minimização de estoques, a produção orientada por ordem de serviço e fácil adaptabilidade às variações da demanda.

3.3.3 *Layout* Celular

A redução de estoques e dos lotes de fabricação, o envolvimento da mão-de-obra, o fluxo contínuo de produção e aprimoramento contínuo impõem algumas modificações na forma de arranjar os recursos produtivos no espaço disponível da fábrica.

O *layout* tradicional para empresas que produzem certa variedade de produtos tem sido o *layout* por processo ou funcional. Tem-se neste tipo o agrupamento das máquinas por processo, ou seja, vários tornos são colocados lado a lado, da mesma forma ocorre com fresadoras, furadeiras, etc. e cada máquina é operada por um trabalhador.

O arranjo físico geralmente utilizado nas empresas que adotam o sistema JIT é o arranjo físico celular ou por produto. Neste tipo de *layout*, os tornos são colocados ao lado de fresadoras, furadeiras, etc., voltados para a fabricação de determinados produtos ou peças de forma que um trabalhador opere várias máquinas diferentes.

O *layout* celular é aplicável apenas a processos que se destinam a produzir grandes quantidades de poucos produtos padronizados, não sendo viável para empresas que pretendam oferecer maior variedade de produtos ao mercado.

As células de manufatura são formadas pelos equipamentos necessários para processar completamente os componentes de determinada família de produtos, dispostos segundo o roteiro de fabricação preferencial característico desta família.

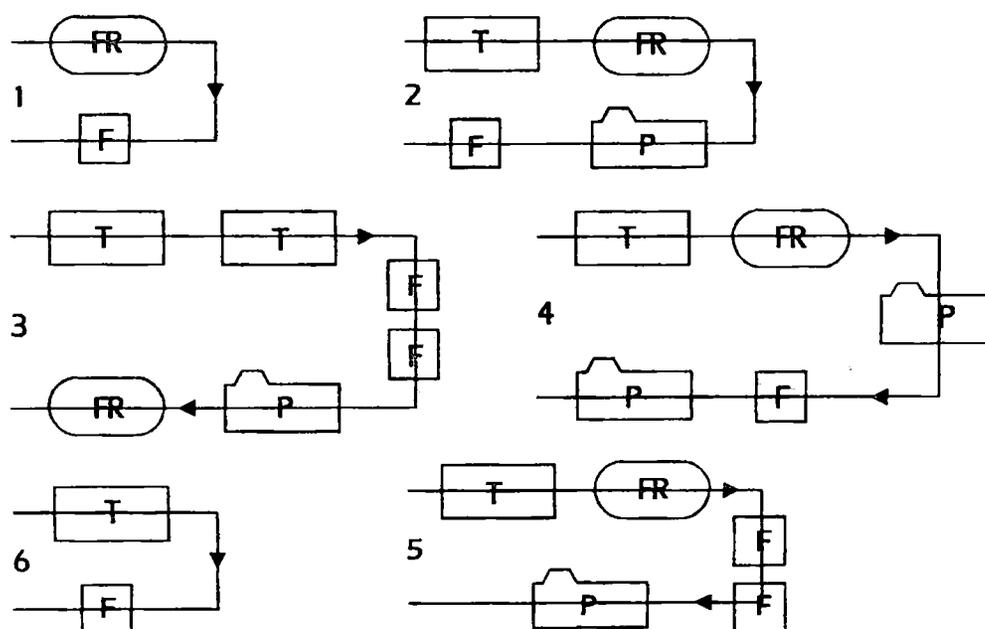


FIGURA 2- Arranjo Físico Celular

Fonte: CORRÊA & GIANESI (1996)

Como se pode observar na figura 2, a forma do *layout* celular geralmente é em forma de U e suas vantagens são:

- menos estoque de produtos em processo;
- menores custos de movimentação de materiais;
- menores *lead times* de produção;
- planejamento da produção mais simplificado;
- controle visual das operações;
- menos troca de ferramentas.

A célula de manufatura possibilita ao operário um maior conhecimento do trabalho, que resulta em uma redução de custos e melhoria da qualidade. A forma das células permite que um número menor de funcionários opere o equipamento.

É importante também notar que o layout celular tem algumas desvantagens, impondo restrições ao processo. Algumas delas são a redução da flexibilidade do sistema de manufatura e a maior ocorrência de máquinas paradas, uma vez que os equipamentos são dedicados às células, não podendo ser compartilhados por produtos ou componentes fabricados em outras células, caso o mix de produtos varie substancialmente ao longo do tempo, variando a carga de trabalho nas células. Outra desvantagem geralmente observada é a maior necessidade de capacidade em relação ao *layout* funcional.

Para que as células sejam viáveis econômica e operacionalmente a longo prazo, é preciso que as máquinas sejam agrupadas próximas uma das outras, que as células sejam flexíveis em relação ao mix de capacidade, que sejam suficientemente grandes de forma que a ausência de um funcionário não interrompa sua operação e suficientemente pequena para que os operadores se identifiquem com a célula na qual trabalham e conheçam bem seus produtos e equipamentos. Mais ainda, é fundamental que os funcionários sejam flexíveis e multifuncionais, para operar várias máquinas próximas e substituir operadores ausentes.

3.3.4 Operador Multifuncional

O elemento chave para obter flexibilidade de mão-de-obra (*shojinka*) é a habilidade para aumentar ou reduzir a variação de trabalhos executados por cada operário. O *layout* adequado ajuda a desenvolver esta habilidade.

A flexibilidade da mão-de-obra é denominada pela palavra *shojinka*, que significa a habilidade para modificar de maneira rápida o número de operários em cada posto de trabalho para tornar possível a adaptação às variações da demanda. Por isso o operador deve ser multifuncional, o que significa capacitação para atender às variações no tempo de ciclo, nas rotinas de operações e, em muitos casos, no conteúdo do trabalho individual.

O sistema de rotação de trabalho na Toyota consiste de três etapas principais:

Etapa 1: Rotação de Supervisores - os agentes e supervisores fazem a rotação e testam suas próprias habilidades a todos os operários da área.

Etapa 2: Rotação dos operários dentro de cada área - cada operário da área deve ser treinado para executar todas as tarefas.

Etapa 3: Rotação do trabalho várias vezes ao dia - programa os operários através da rotação do trabalho, numa frequência de várias vezes ao dia.

As vantagens do operador multifuncional são:

- O operário pode participar de todo o processo da área e, conseqüentemente, sentir-se melhor em relação ao seu trabalho.
- O operário pode engajar-se na equipe de trabalho e também ajudar os colegas.

3.3.5 Melhoria nas Operações Manuais e Padronização das Operações

No sistema de produção Toyota, busca-se o aumento da produtividade e a redução dos custos de produção. Para atingir o aumento de produtividade é necessário reduzir o número de pessoas ou, se houver o mesmo número, aumentar o volume de produção. Ambas as alternativas envolvem sacrifícios em termos humanos, ou seja, uma desumanização do trabalhador. Para solucionar o conflito entre produtividade e aspecto humano, a Toyota incentivava melhorias em cada posto de trabalho.

Dentre estas melhorias podemos citar: aperfeiçoamento das operações manuais, evitando movimentos desnecessários; introdução de novas máquinas ou melhoria das já existentes para reduzir o esforço físico e obter maior rendimento do equipamento e economia em materiais e suprimentos, observa SILVA (1994).

O sistema Kanban também atua em paralelo para melhorar a produtividade. Este sistema será melhor detalhado posteriormente. A figura 3 relaciona o sistema Kanban e as diversas melhorias

no local de trabalho, junto com os círculos de controle de qualidade, o aumento na produtividade e na moral dos trabalhadores.

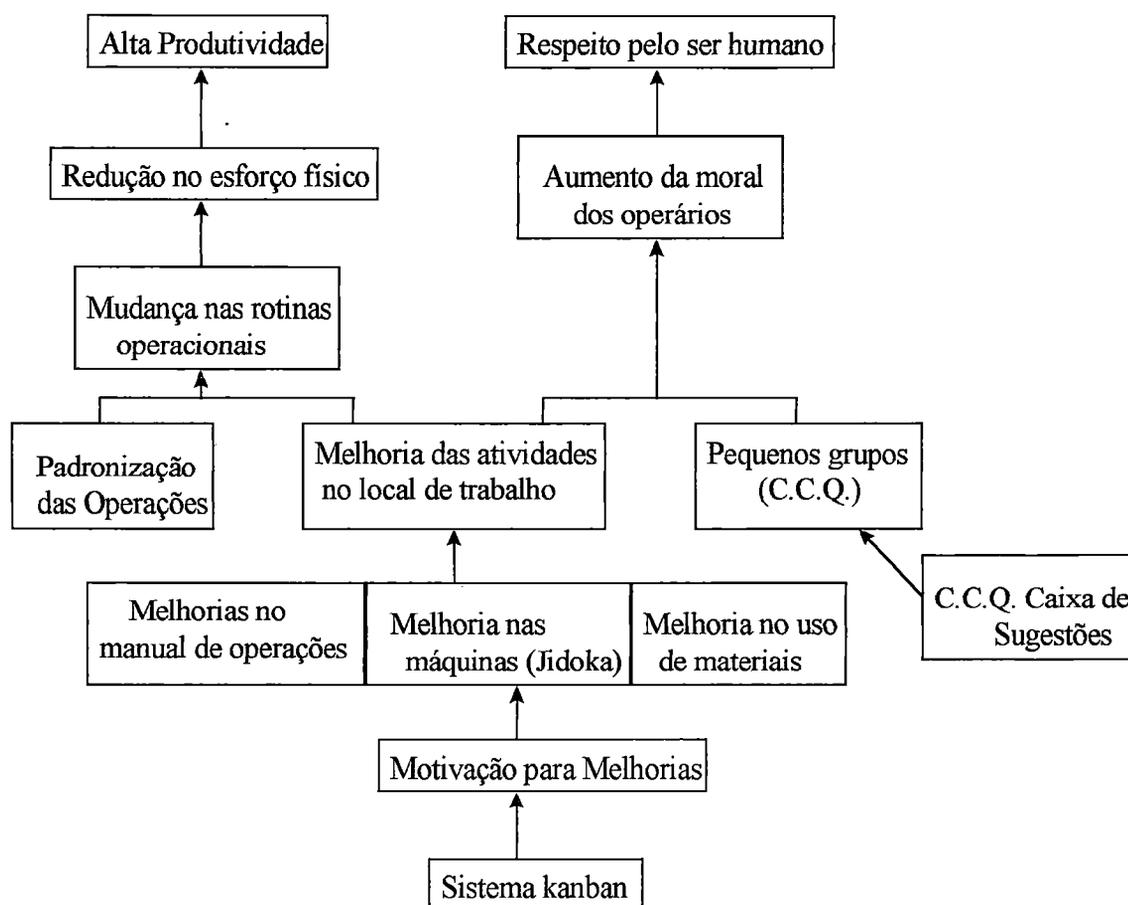


FIGURA 3 - Estruturas das Atividades de Melhoria

Fonte: MONDEN (1985)

Todas as operações manuais discorrem sobre os seguintes aspectos:

- Perda Pura: ações desnecessárias e dispensáveis, como exemplo, podemos citar: tempos de espera e estoque de produto em processo.

- Operações produtivas para aumentar valor agregado: operações que aumentam o valor das matérias-primas ou produtos semi-acabados, adicionando mão-de-obra direta. Exemplos: submontagens de peças; matéria-prima forjada, pintura, operações de recuperação, de reparo ou remoção de defeitos, ferramentas ou equipamentos.

Quando a porcentagem de operações produtivas aumenta, a mão-de-obra por unidade pode diminuir resultando num número menor de operadores necessários em cada local. Este é o passo inicial para eliminar o desperdício puro. O passo seguinte é a eliminação de operações improdutivas, na medida do possível, sem investimentos excessivos.

Finalmente, cada operação produtiva deve ser examinada para acrescentar o valor agregado, analisando-se a conveniência de introduzir alguns dispositivos pneumáticos ou eletrônicos que substituam o trabalho manual.

A padronização das operações possui três objetivos principais. O primeiro é a obtenção de alta produtividade através de trabalho dedicado; o segundo objetivo é obter balanceamento de linha entre todos os processos em termos de tempo de produção, neste caso o tempo de ciclo deve ser montado em operações padronizadas; o terceiro é que apenas uma quantidade mínima de material em processo, denominada quantidade padrão de material em processo ou número mínimo de unidades necessárias para operações padronizadas, é manipulada pelos operários.

Os benefícios trazidos pela padronização das operações são:

Mantém o mesmo nível de produtividade e qualidade independente do operador individual, balanceando as linhas e evitando os estoques em processo.

- Facilita o aprendizado, tornando possível a múltipla qualificação dos trabalhadores.
- Garante o fluxo contínuo da produção.
- Facilita a introdução de inovações tecnológicas.

3.3.6 Qualidade total

A qualidade é um benefício gerado pelo sistema JIT e um pressuposto para sua implementação. Desta forma é um dos elementos mais importantes da filosofia assim como a busca por flexibilidade. O conjunto de conceitos que traduzem a visão do JIT sobre a questão da qualidade tem sido denominado de Controle da Qualidade Total, afirmam CORRÊA & GIANESI (1996).

O Japão iniciou a jornada do controle da qualidade dos seus produtos a partir de palestras proferidas pelos especialistas W.E. Deming e J. M. Juran, que influenciaram fortemente o país na questão da qualidade.

O controle de qualidade é feito na própria linha de produção, garantindo que os produtos sejam produzidos com qualidade e não apenas inspecionados após sua produção. Com a responsabilidade pela qualidade sendo atribuída à produção, as seguintes funções passam a caber ao departamento de controle de qualidade, afirmam CORRÊA & GIANESI (1996):

- treinamento dos funcionários da produção para controlar a própria qualidade;
- condução de auditorias de qualidade aleatórias nos diversos setores da produção e nos fornecedores;
- assistência aos funcionários da produção relacionados aos problemas de qualidade que estão enfrentando;
- supervisão dos testes finais de produtos acabados;
- auxílio a difusão e implementação dos conceitos de controle de qualidade pela empresa toda.

Esta última tarefa está relacionada com os círculos de controle da qualidade, uma técnica que procura favorecer a participação dos trabalhadores na identificação e solução de problemas de qualidade.

O objetivo do controle da qualidade total é atingir a perfeição através do aprimoramento contínuo. Entre os aspectos mais importantes do controle da qualidade total, estão:

- **controle do processo:** controle de todas as fases do processo durante a produção. Isto exigiria uma quantidade enorme de inspetores se a qualidade não fosse responsabilidade da produção. Cada posto de trabalho é um posto de inspeção e controle da qualidade do processo.
- **paralisação das linhas:** prioridade total para a qualidade, sendo que a quantidade produzida fica em segundo lugar. As linhas devem diminuir suas velocidades, se for preciso parar caso a qualidade não esteja satisfatória, para que os problemas possam ser resolvidos.
- **correção dos próprios erros:** os problemas de qualidade e os erros cometidos devem ser corrigidos por quem os gerou. Não devem existir linhas especiais de retrabalho para peças defeituosas porque isto contribui para a complacência com a ocorrência dos erros.
- **inspeção total:** deve haver esforço para inspecionar todas as peças produzidas, podendo ser até mesmo os próprios operários responsáveis pela sua produção. A utilização do controle estatístico por amostragem contraria vários conceitos do controle da qualidade total: a procura por erros é muito importante, uma vez que estes fornecem informação para o aprimoramento contínuo; não se deve assumir um nível de qualidade aceitável (NQA), qualquer que seja, pois contraria a meta de zero defeito e perfeição.
- **lotes pequenos:** a fabricação em lotes pequenos permite que as peças cheguem rapidamente ao posto de trabalho posterior, onde eventuais problemas serão rapidamente identificados. Lotes pequenos não geram grandes estoques que tendem a esconder os problemas de qualidade.
- **organização e limpeza da fábrica:** a organização e a limpeza viabilizam a confiabilidade dos equipamentos, a visibilidade dos problemas, a redução de desperdícios, o

controle e aprimoramento da qualidade, entre outros. A sujeira e a poeira prejudicam os equipamentos e desgastam componentes mecânicos, além disso não permitem identificar qualquer coisa que caia no chão, dificultando a visibilidade. Quando o piso da fábrica está limpo, os desperdícios ficam visíveis, assim como tudo que está fora do lugar.

- **excesso de capacidade:** manter o excesso de capacidade ajuda a viabilizar o princípio de paralisação da linha de produção ou diminuição de sua velocidade, caso estejam ocorrendo problemas, sejam eles referentes à qualidade ou não. A programação inferior à capacidade máxima permite que as pessoas trabalhem e os equipamentos sejam operados em ritmos mais suaves, evitando desgastes excessivos.
- **verificação diária dos equipamentos:** tarefas como lubrificação, ajustes, regulagens e afiação de ferramentas devem ser feitas diariamente, ao início do turno, pois ajudam a garantir a qualidade das peças produzidas, no que se refere à situação dos equipamentos. Máquinas desajustadas produzem peças defeituosas.

3.3.7 O Sistema Kanban

O sistema Kanban é uma das técnicas mais utilizadas no JIT. Kanban é uma técnica de gestão de materiais e de produção no momento exato, controlado através do movimento do cartão (Kanban). O sistema Kanban é um método de “puxar” as necessidades de produtos acabados, sendo assim, oposto aos sistemas de produção tradicionais que “empurram” a produção. É um sistema simples de auto-controle para o chão de fábrica, independente de gestões paralelas e controles computacionais, afirma MOURA (1989).

Kanban é a palavra japonesa para cartão ou sinal e, em algumas vezes, ele é chamado de “correia invisível” pois controla a transferência de material de um estágio a outro da operação. Em sua forma mais simples, é um cartão utilizado por um estágio posterior para avisar seu estágio anterior que deve ser enviado mais material. Os kanbans também podem ter outras

formas, como em casos de algumas indústrias japonesas, eles são marcadores plásticos ou bolas de ping-pong coloridas com diferentes cores representando componentes diferentes.

O kanban tem algumas funções especiais pela sua própria característica de puxar a produção, de acordo com MOURA (1989) são elas:

- aciona o processo produtivo quando necessário;
- não permite a produção para estoque com previsões futuras;
- paralisa a linha de produção quando houver problemas não solucionados;
- é acionado pelo próprio operador;
- garante a distribuição programada das ordens de serviço;
- evita o excesso ou a falta de produção/entrega das peças;
- controla o inventário;
- descobre e amplifica as falhas dos processos;
- entrega as peças de acordo com o consumo e
- identifica as peças.

3.3.7.1 Tipos de Kanban

O sistema Kanban utiliza três tipos de cartões:

- **kanban de transporte:** é utilizado para avisar o estágio anterior que o material pode ser retirado do estoque e transferido para uma área específica. Um típico kanban de transporte contém pelo menos cinco informações: 1) a descrição da peça, que fornece informações sobre a peça que está sendo transportada, por exemplo o código da peça, nome, número da montagem final; 2) o tamanho do contenedor, que especifica quantas

peças estão dentro do contenedor; 3) número de liberação, indica o contenedor em que o kanban foi anexado e o total de contenedores em uso no centro específico de trabalho; 4) o centro de trabalho anterior, que descreve o processo precedente e informações como número do centro de trabalho e sobre o local de estocagem; 5) o centro de trabalho posterior, que descreve o estágio seguinte e outras informações sobre esse processo.

- **kanban de produção:** é um sinal para a estação de trabalho autorizando a produção de um item para este ser colocado em estoque. Este kanban contém, normalmente, seis informações: 1) a descrição da peça, que fornece as informações necessárias sobre a peça; 2) o tamanho do contenedor, que indica quantas peças devem ser produzidas para este contenedor específico; 3) o centro de trabalho/descrição do processo, que fornece informações sobre o centro de trabalho e a descrição do processo que produz a peça; 4) o local de estocagem, que indica onde o contenedor deve ser estocado depois que o número solicitado de peças foi produzido; 5) as necessidades de materiais, que especificam o material ou os números de peças dos componentes necessários para fazer uma peça específica e de onde este material deve vir.
- **kanban do fornecedor:** é utilizado para avisar ao fornecedor que é necessário enviar material ou componentes para um estágio da produção. Este kanban é semelhante ao kanban de transporte, entretanto é utilizado com fornecedores externos.

O esquema simplificado de fluxo é ilustrado na figura 4:

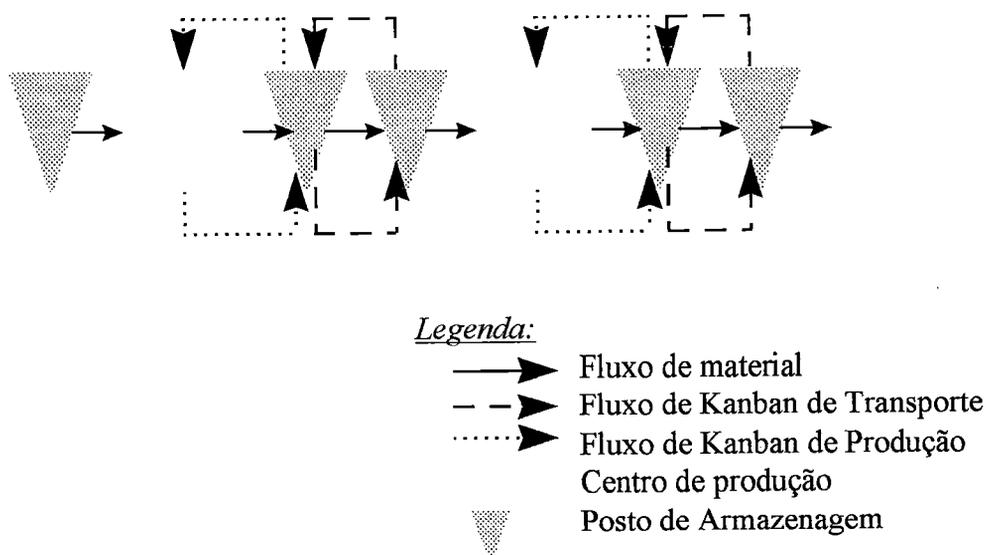


FIGURA 4 - Esquema Simplificado do Fluxo Kanban

Fonte: CORRÊA & GIANESI (1986)

Independente do tipo de kanban, afirmam SLACK et al. (1997), o princípio utilizado é sempre o mesmo, ou seja, o recebimento de um kanban dispara o transporte, a produção ou o fornecedor de uma unidade ou de um contenedor-padrão de unidades. Se dois kanbans são recebidos, eles disparam o transporte, a produção ou o fornecimento de duas unidades ou dois contenedores padrão de unidades e assim por diante. Os kanbans apenas são meios através dos quais o transporte, a produção ou o fornecimento podem ser autorizados, mesmo quando o kanban não é um cartão ou objeto. Em algumas fábricas são utilizados “quadrados kanbans”, que são espaços demarcados no chão da fábrica e nele os contenedores são desenhados. A existência de um quadrado vazio dispara a produção no estágio que abastece o quadrado. Os contenedores funcionam com um tipo de acessório e, devido ao fato de todos os contenedores serem padronizados para um volume fixo de itens, eles são uma ferramenta indispensável para manter o controle visual sobre o nível de material em processo.

3.3.7.2 A Técnica do Sistema Kanban

Os componentes básicos do Kanban, de acordo com MOURA (1989), são os seguintes:

- Os cartões de autorização (kanbans de transporte e de produção).
- Contenedores padronizados.
- Centros de trabalho ou células.
- Painéis porta-kanban de produção.
- Áreas de entrada.
- Áreas de saída (supermercado).

Cartões de autorização

No sistema Kanban utiliza-se, normalmente dois cartões: o kanban de transporte e o de produção, como explicado anteriormente. O kanban de produção é um dispositivo de controle dentro do processo (ou célula) e o kanban de transporte é um dispositivo de controle entre processos (ou células).

Componentes da área de produção

A área de produção do sistema kanban funciona como o lugar onde o centro de trabalho produz peças, esta área consiste de vários componentes e também dos cartões de produção.

O ponto central da área de produção é o centro de trabalho, onde realiza-se tarefas específicas do produto através de máquinas, trabalho manual, equipamento automatizado robôs, entre outros.

O painel de kanbans de produção é um painel coletor que autoriza o processamento do kanban de produção; o contenedor padrão pode ser um recipiente que possa conter o número autorizado de peças, ele deve ser padronizado para que todos os centros de trabalho tenham a possibilidade de usar os mesmos contenedores; a área de entrada é o local de estocagem que fornece o material necessário ao centro de trabalho para produzir a peça seguinte; a área de saída (ou supermercado) é o local de estocagem dos produtos acabados do centro de trabalho. Estes produtos acabados do centro de trabalho são colocados em um contenedor, que é mantido no supermercado até ser requisitado pelo processo que o necessita. O supermercado é preparado para que o consumidor

(processo seguinte) possa escolher peças de uma maneira fácil e, desta maneira, são instaladas prateleiras para uso mais eficiente do espaço e todo item possui um espaço específico.

Componentes da área retirada

Quando estiverem esgotadas as peças do contenedor necessárias para processar o produto, o centro de trabalho envia o contenedor vazio e o cartão de transporte para a área de retirada. Isto demonstra que o centro de trabalho deve ser reabastecido, pois contém um cartão de transporte dentro do contenedor vazio. Desta forma, o contenedor vazio é enviado para a área de saída do centro de trabalho anterior. A área de contenedores de kanbans de retirada é idêntica a área de entrada do centro de trabalho seguinte.

3.3.7.3 Formas de gerenciar o Kanban

Há dois procedimentos que podem gerenciar o uso dos kanbans e são conhecidos como sistema de cartão único e sistema de dois cartões. O sistema de cartão único é o mais utilizado porque é mais simples de operar, ele utiliza apenas kanbans de transporte (ou kanbans de fornecedor quando o fornecimento de materiais é de uma fonte externa). O sistema de dois kanbans utiliza o kanban de transporte e o de produção.

A) Sistema de Cartão Único

Em cada estágio há um centro de produção e uma área de armazenagem. Toda a produção e estoques estão contidos em contenedores-padrão, que contém exatamente o mesmo número de componentes. Quando o estágio B necessita de mais componentes para processar, ele coleta um contenedor padrão do ponto de armazenagem do estágio A. Após a utilização dos componentes do contenedor pelo centro de trabalho, o mesmo coloca o Kanban de transporte numa área de espera e envia o contenedor vazio para o centro de trabalho do estágio A. A chegada de um contenedor vazio no centro de trabalho do estágio A é o sinal para a produção neste centro de trabalho. O Kanban de transporte é movimentado da caixa de espera de volta ao ponto de

estocagem final no estágio A . Isto representa a autorização para a coleta de mais um contenedor cheio, que será movimentado do ponto de estocagem final do estágio A até o centro de trabalho do estágio B. Dois fluxos fechados controlam o fluxo de materiais entre os estágios: o ciclo do Kanban de transporte, que mantém o material circulando entre os estágios e o ciclo do contenedor, que conecta os centros de trabalho com o ponto de estocagem e faz circular os contenedores cheios de A para B e vazios de volta de B para A .

É mais simples começar com um sistema de cartão único e, posterioremnte, se for necessário, passar para o sistema de dois cartões.

B) Sistema de dois cartões

O sistema de dois cartões utiliza o Kanban de transporte e o de produção. O uso do sistema de dois cartões é mais adequado em situações em que o número de componentes diferentes produzidos em cada estágio é relativamente alto. Neste caso, cada estágio tem dois pontos de estocagem: um armazenando os contenedores e componentes que chegam e o outro armazenando os contenedores e componentes que saem. O ciclo do Kanban de transporte é semelhante àquele utilizado no sistema de cartão único. Iniciando pelo ponto de estocagem de entrada no estágio B, no momento em que o centro de trabalho B requer componentes a serem produzidos, ele os coleta de seu ponto de estocagem de entrada, colocando o Kanban de transporte na caixa de espera.. Quando o centro de trabalho B termina seu processo em todos os componentes do contenedor e este último está vazio, o Kanban de transporte é colocado junto ao contenedor e o dois são transportados de volta ao ponto de estocagem de saída do estágio A . O Kanban de transporte autoriza a liberação de um contenedor cheio no ponto de estocagem A, colocado no contenedor, que é então enviado para o ponto de estocagem de entrada do estágio B. Este processo completa o ciclo do Kanban de transporte. Enquanto isso o contenedor vazio espera no ponto de estocagem A até que ele seja necessário no centro de trabalho A para abrigar componentes processados. O movimento dos contenedores entre cada centro de trabalho e seus pontos de estocagem final é controlado por um ciclo de Kanbans de produção. Quando o contenedor vazio que foi transportado do ponto de estocagem final A para o centro de trabalho A estiver completo, o Kanban de produção da caixa de espera no centro de trabalho A é preso a ele e o contenedor

(agora completo) é transportado para o ponto de estocagem final no estágio A . Antes que este contenedor seja coletado, seu Kanban de produção é colocado numa caixa de espera, no ponto de armazenagem final A . Este cartão é transportado para a caixa de espera no centro de trabalho A, onde é preso a um contenedor cheio e transportado de volta ao ponto de estocagem A, completando o ciclo.

A seqüência de ações e o fluxo de Kanbans podem inicialmente parecer complicados, mas na prática o seu uso fornece um método claro e simples de solicitação de material no momento necessário bem como o limite de quantidade de estoque que poderia se acumular entre os estágios. O número de Kanbans que são colocados nos ciclos entre os estágios ou entre os pontos de estocagens e os centros de trabalho é igual ao número de contenedores no sistema e representa o estoque que pode ser acumulado. Retirar um Kanban significa reduzir o estoque.

3.3.7.4 Dimensionamento do Número de Kanbans

A quantidade em estoque (supermercado) de cada peça é igual ao número de cartões Kanban distribuídos para aquela peça vezes o número de peças em cada contenedor padrão, sendo que o número de contenedores padrão é igual ao número de cartões Kanban daquela peça.

As variáveis que determinam o número de Kanbans, segundo MOURA (1989) são:

- Demanda Média Diária
- *Lead Time*
- Coeficiente de Segurança ou Estoque de Segurança
- Capacidade do Contenedor

A demanda média diária é determinada pela quantidade nivelada por dia, derivada de uma quantidade de demanda mensal. Quando a demanda mensal é modificada, o número total de Kanbans por mês também é modificado. Cada peça tem seu lugar específico no supermercado, ou seja, o “estoque” antes do usuário. Decide-se qual deverá ser a quantidade no “estoque” para cada

peça e o consumo pode ser diário ou semanal. Cada tipo de peça tem uma quantidade certa de Kanbans que circulam e cada Kanban corresponde a uma certa quantidade de peças. É importante lembrar também que cada contenedor corresponde a um Kanban de fabricação. Se o tempo de processo para o fornecimento de um contenedor fosse igual a zero, o total de Kanbans seria definido pela quantidade em “estoque”/quantidade de peças por contenedor. Como o tempo de processo é maior que zero, a quantidade de Kanbans terá que ser maior. O tempo de processo depende do tamanho da fila e do tempo de fabricação. Portanto, o número de Kanbans depende de quantos contenedores são indispensáveis no fluxo de fabricação para abastecer a necessidade da estação de trabalho posterior.

A determinação da quantidade de cartões necessários para cada peça ou componente a ser produzida (o) em uma estação de trabalho geralmente é feita utilizando a seguinte fórmula:

$$n = \frac{D(T_p + T_e)(1 + \alpha)}{A} \quad \text{Fórm. (1)}$$

onde:

n = número de cartões

D = Demanda

T_p = Tempo de processo

T_e = Tempo de espera

α = Fator de segurança

A = Número de unidades de peças de cada contenedor.

O tempo de processo é o tempo necessário para um cartão de produção completar o ciclo na estação de trabalho. Usualmente este tempo é expresso em frações decimais de 1 dia para completar o contenedor.

O tempo de espera é o tempo necessário para um cartão de transporte completar o circuito entre a estação de trabalho que produz a peça e a estação de trabalho que a consome. O tempo é expresso em frações decimais de um dia e corresponde a preparação e espera de um contenedor.

O fator de segurança refere-se a uma variação tolerada, em função da eficiência das estações de trabalho e também do estágio de implantação em que o sistema se encontra. Quando o sistema atingir seu grau de excelência máxima, α estará em torno de 10 % de $(T_p + T_e)$, ou seja, do tempo total de fabricação.

O número de peças por contenedor (A) depende do volume e peso da unidade, entretanto procura-se que o contenedor e o material nele contido seja transportado pelo operário.

3.3.7.5 Regras do Kanban

A simplicidade e a eficiência do Kanban estão entrelaçadas em cinco regras básicas, descritas a seguir:

- 1) Cada processo busca as peças necessárias no processo anterior.
- 2) Não produzir mais do que a quantidade requisitada pelo processo seguinte.
- 3) Não enviar itens com defeitos ao próximo processo.
- 4) Os cartões kanban são um meio de ajuste da produção.
- 5) Estabilizar e racionalizar a produção.

As principais diferenças entre o sistema Kanban e o sistema tradicional de produção (ou MRP), segundo MOURA (1989), estão listadas na figura 5:

<i>SISTEMA TRADICIONAL</i>	<i>SISTEMA KANBAN</i>
• Examina a relação de quantidade do estoque e custo	• Reduz o estoque, pois qualquer estoque aumenta o custo
• Determina a quantidade ideal do estoque	• A linha pára toda vez que acontecem problemas
• O estoque balanceia a linha normalmente	• Requer soluções de melhoramento
• Não é solicitado melhoramento	• Evita a reincidência dos problemas, diminui o tempo de preparação e melhora as operações
• Com muito estoque, não há melhoramentos	• Com menos estoque, aparecem os problemas e os melhoramentos
• O custo não baixa	• O custo não baixa

FIGURA 5 - Quadro Comparativo entre Sistema Kanban e Sistema Tradicional

Fonte: MOURA (1989)

3.4 Projeto do Sistema de Produção para Just in Time

3.4.1 Projeto para manufatura Just in Time

Há um número grande de empresas, segundo CORRÊA&GIANESI (1996), que desejam aceitar qualquer pedido dos clientes, ou ao menos oferecer variada faixa de opções de produtos para que os clientes possam escolher. Entretanto, esta prática acaba criando uma certa confusão na manufatura, pois aumenta a probabilidade de ocorrência de erros e eleva os custos. Nas empresas que adotam o JIT, o mercado-alvo é limitado e as opções de produtos são igualmente limitadas.

Os princípios da filosofia JIT são mais aplicáveis e fornecem melhores resultados em produções padronizadas e em grandes quantidades, uma vez que o JIT dá ênfase ao fluxo de

materiais. Entretanto, a era em que vivemos exige constantes mudanças nas demandas do mercado, por isso é importante que as empresas ofereçam uma diversidade de produtos, dentro de determinada faixa. A competitividade envolve, entre outros aspectos, projetar produtos que antecipem as necessidades do mercado e possuam uma variedade suficiente para atender às expectativas dos diferentes consumidores, ao mesmo tempo, a um preço que o mercado esteja disposto a pagar, afirmam CORRÊA & GIANESI (1996).

Uma das formas de se obter isto é aumentar a variedade de produtos oferecidos sem aumentar a variedade do processo, a qual vem sempre acompanhada de complexidade e elevação de custos. O enfoque dado pela filosofia JIT tem buscado, através de técnicas como projeto adequado à manufatura e projeto adequado à montagem, equipamentos flexíveis, mão-de-obra flexível e dispositivos que diminuem o tempo de preparação de máquinas. O objetivo é reduzir a variedade e complexidade do processo, mantendo alta variedade de produtos oferecidos ao mercado.

A abordagem dada pelo JIT consiste no projeto inteligente de produto, contemplando considerações sobre o processo durante o estágio de projeto do produto. Assim, obtém-se um aumento na variedade de produtos produzidos em determinada fábrica, mantendo a variedade e complexidade do processo.

Algumas das técnicas associadas ao projeto adequado à manufatura e à montagem, adotadas pela filosofia JIT, são comentadas por CORRÊA & GIANESI (1996):

- **Projeto modular:** reduzir o número de componentes necessários à produção de determinado produto e, conseqüentemente, reduzir o *lead time* de produção traz bons resultados. Da mesma maneira, os produtos podem ser projetados segundo um enfoque modular, de tal modo que vários componentes e submontagens sejam comuns dentro da faixa de variedade de determinado produto. Também é possível ampliar a variedade de produtos oferecidos ao mercado, através da combinação múltipla de um número restrito de componentes e submontagens alternativos.

- **Projeto visando à simplificação:** neste projeto procura-se projetar produtos que sejam simples de fabricar e montar. Os projetos de novos produtos devem, na medida do possível, incluir itens “de prateleira”, padronizados, ou componentes que possam ser fabricados com um mínimo de testes de ferramentas e moldes no início de produção. As características dos produtos, como tolerâncias e acabamento superficial, entre outras, devem ser determinadas considerando as conseqüências da sofisticação desnecessária, no processo produtivo e nos custos de produção. Esta abordagem pode resultar em grandes simplificações nos processos de manufatura e montagem.
- **Projeto adequado à automação:** este projeto consiste em conceitos gerais e idéias que irão, no caso de componentes montados, ajudar a simplificar os processos de alimentação, posicionamento e montagem das peças. Assim, sugere-se que a montagem seja feita trabalhando-se em um número mínimo de faces ou lados do produto, preferencialmente com movimentos de cima para baixo, evitando montagens laterais ou de baixo para cima. Desse modo, os processos de montagem podem mais facilmente ser automatizados, eventualmente com o uso de robôs.

3.5 O elemento humano no Just in Time

Vários aspectos citados da filosofia JIT exigem participação intensa e envolvimento da mão-de-obra, além de ênfase no trabalho de equipe. O processo de aprimoramento contínuo somente pode ser realizado com mão-de-obra atuante, tanto para identificar os problemas e torná-los visíveis quanto se esforçar para resolvê-los. A própria responsabilidade pela qualidade que é transferida dos especialistas para o pessoal de produção só pode ser implementada com envolvimento dos trabalhadores.

A coordenação necessária entre os diversos estágios da produção devido a redução dos estoques intermediários requer espírito de trabalho em equipe. Para isso, a forma das células de manufatura colabora para a comunicação entre os trabalhadores, possibilitando maior envolvimento de todos na solução dos eventuais problemas que possam ocorrer, sejam eles

problemas de qualidade ou quebras de máquinas, que tendem a prejudicar o trabalho de todo o grupo.

O JIT favorece a participação dos trabalhadores na geração de sugestões para os problemas de programação, principalmente no que se refere ao balanceamento das linhas que fica a cargo do próprio pessoal de produção. Sistemas centralizados, baseados em computador, geram programas que só podem ser compreendidos por especialistas, impondo ao pessoal de produção a obediência plena às ordens.

3.6 Planejamento, Programação e Controle da Produção para Just in Time

Alguns dos objetivos e benefícios fundamentais do JIT são reduzir continuamente os custos, obter níveis crescentes de qualidade e dar flexibilidade ao processo para que se possa adaptar-se às variações da demanda. Obtém-se esta flexibilidade através da redução dos *lead times*, uma vez que os estoques são retirados do sistema produtivo esperando-se obter um fluxo suave e contínuo de materiais na fábrica. A necessidade dessa flexibilidade está limitada, principalmente, no que se relaciona a mudanças no mix de produtos.

A transformação de todo o fluxo de produção em uma linha de fluxo contínuo, que inclua a montagem final dos produtos e a fabricação de componentes e submontagens, não aceita grandes variações de curto prazo no volume de produção. Contudo, para ajudar a produção a responder às variações possíveis da demanda a curto prazo, o sistema JIT busca adaptar a demanda esperada às possibilidades do sistema produtivo, além de organizar este sistema de maneira que variações pequenas de demanda a curto prazo possam ser acomodadas sem muito transtorno para o sistema de produção. A técnica utilizada para este fim é conhecida como amaciamento da produção, afirmam CORRÊA & GIANESI (1996).

Através desta técnica, as linhas de produção podem produzir vários produtos diferentes a cada dia, respondendo assim, adequadamente à demanda do mercado. A redução dos tempos envolvidos no processo é essencial para esta técnica, principalmente os tempos de preparação e os tempos de fila, que devem ser desprezíveis. A técnica de amaciamento da produção envolve duas fases, a da

programação mensal e a da programação diária da produção. A primeira fase adapta a produção mensal às variações da demanda ao longo do ano e a segunda adapta a produção diária às variações da demanda ao longo do mês.

A programação mensal é feita a partir do processo de planejamento mensal da produção que resulta em um Programa Mestre da Produção, expresso em termos da quantidade de produtos finais a serem produzidos a cada mês. Este programa também fornece os níveis médios de produção diária de cada estágio do processo, garantindo que os recursos necessários para a execução do programa não faltarão, além de alguma capacidade extra, necessária ao JIT.

O planejamento é baseado em previsões de demanda mensais e o horizonte de planejamento depende de vários fatores característicos da empresa, como as incertezas da demanda e os *lead times* de produção, sendo três meses um valor típico. Quanto menores os *lead times* mais curto pode ser o horizonte de planejamento, possibilitando previsões mais seguras. Com um horizonte de três meses, o mix de produção é sugerido, geralmente com dois meses de antecedência e o plano detalhado é fixado ou “congelado” com um mês de antecedência ao mês corrente. Os programas diários são então definidos a partir deste programa mestre de produção.

3.7 Sincronização da Manufatura

Muitas empresas produzem grande variedade de produtos e componentes, nem todos com regularidade suficiente para garantir uma programação totalmente nivelada. Sincronização significa ajustar a saída de cada estágio do processo de produção para manter as mesmas características de fluxo para cada um dos produtos ou componentes, à medida que eles avançam através de cada estágio. Para isso, é preciso classificar os componentes de acordo com a frequência a qual são demandados. Um método utilizado pela empresa de manufatura britânica Lucas, afirma SLACK *et al.* (1996), classifica os componentes em alto fluxo, repetitivos e eventuais.

Os itens de alto fluxo são produtos ou componentes produzidos com frequência (ex.:todas as semanas). Os repetitivos são produtos ou componentes produzidos de forma regular mas a intervalos maiores e os eventuais são produzidos de forma irregular (a intervalos não previsíveis).

Há vantagens na tentativa de redução de variabilidade dos intervalos entre produções de itens de alto fluxo e repetitivos. O objetivo é sincronizar os processos pelos quais passam componentes e submontagens de tais itens de maneira que eles pareçam estar seguindo uma “batida de tambor” que governa a movimentação de material. É melhor reduzir a velocidade de operações rápidas a produzir mais do que é necessário no momento pelo próximo processo, assim o fluxo torna-se regular e previsível.

CAPÍTULO 4

MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING

4.1 Introdução

O MRP original data dos anos 60, quando as letras significavam *Material Requirements Planning* (cálculo das necessidades de materiais e chamado agora MRP I). O MRP permite que as empresas calculem quantos materiais de determinado tipo são necessários e em que momento. Para isso, ele utiliza os pedidos em carteira, assim como uma previsão para os pedidos que a empresa acha que receberá. O MRP verifica, então, todos os componentes necessários para completar este pedido, garantindo que sejam providenciados, afirmam SLACK et al. (1996).

Até meados da década de 60, as empresas tinham de executar os cálculos das necessidades de materiais manualmente, para garantir que os materiais certos estariam disponíveis nos momentos necessários. No entanto, com o advento dos computadores e o aumento de seu uso nas empresas a partir deste período, estes cálculos detalhados e demorados passaram a ser executados com o auxílio de um computador de maneira rápida e relativamente fácil.

Nos anos 80 e 90, o sistema e o conceito do planejamento das necessidades de materiais expandiram-se fortemente, sendo integrados a outras partes da empresa. A versão ampliada do MRP é conhecida atualmente como Planejamento dos Recursos de Manufatura (*Manufacturing Resource Planning*) ou MRP II.

O cálculo de necessidades de materiais é baseado na idéia de que, se temos conhecimento de todos os componentes de um dado produto e os tempos de obtenção de cada um deles, é possível calcular (com base na visão futura das necessidades de disponibilidade do produto em questão) os momentos e as quantidades a serem obtidas de cada um dos componentes para não haver falta nem sobra de nenhum deles no suprimento das necessidades dadas pela produção do produto.

A função básica do MRP é a conversão das necessidades brutas em necessidades líquidas, sendo que estas últimas estão sempre relacionadas ao tempo, ou seja, alguma data ou período, afirma ORLICKY (1975).

4.2 Conceitos Fundamentais para o Sistema MRP

O MRP está baseado nos seguintes conceitos:

1. Demanda Independente *versus* Demanda Dependente
2. *Lead times* de produção
3. Uso Comum de Itens
4. Itens Pais e Itens Filhos

1. Demanda Independente *versus* Demanda Dependente

Os itens chamados de demanda independente são aqueles cuja demanda não depende de nenhum outro item. Um exemplo típico é um produto final, que tem sua demanda dependente do mercado consumidor e não da demanda de qualquer outro item, afirmam CORRÊA & GIANESI (1996).

Os itens de demanda dependente são aqueles cuja demanda depende da demanda de algum outro item. A demanda de um componente de um produto final, por exemplo, é dependente da demanda do produto final. Para a produção de cada unidade de produto final, uma quantidade bem conhecida e definida do componente sempre será necessária. Os itens componentes de uma montagem são conhecidos como itens “filhos” do item “pai”, que representa a montagem.

A principal diferença entre os dois itens (de demanda independente e de demanda dependente) é que a demanda do primeiro tem de ser prevista com base nas características do mercado consumidor. A demanda do segundo não necessita ser prevista, pois sendo dependente de outro, pode ser calculada com base na demanda deste.

A lógica da utilização do cálculo de necessidades, explicam CORRÊA & GIANESI (1996), partiu da percepção desta diferença básica. Tradicionalmente, a gestão de todos os itens de estoque, fossem eles itens componentes, semi-acabados ou produtos finais, era feita pelas empresas baseado nos modelos convencionais como, por exemplo, os de ponto de reposição e lote econômico.

Para estes sistemas, a compra ou produção de um item deveria ocorrer em determinada quantidade chamada lote econômico, no instante em que o estoque do item baixasse a certo nível denominado “ponto de reposição”. Neste ponto, uma ordem de ressurgimento do item deveria ser disparada, para que o item começasse a ser montado, fabricado ou pedido a um fornecedor (caso o item fosse um item comprado).

Estes modelos tratam todos os itens indiscriminadamente, como se eles fossem itens de demanda independente. Já os itens de demanda dependente são tratados como se eles estivessem sujeitos a uma incerteza de demanda que na verdade já não existe.

2. *Lead times* de Produção

O *lead time*, ou tempo de ressurgimento de um item, é o tempo necessário para seu ressurgimento. Se um item é comprado, o *lead time* refere-se ao tempo decorrido desde a colocação do pedido de compra até o recebimento do material comprado. Se se trata de um item fabricado, o *lead time* refere-se ao tempo decorrido desde a liberação de uma ordem de produção até que o item fabricado esteja pronto e disponível para uso.

Com estes dados (estrutura do produto e *lead times* dos itens), além das necessidades (quantidades e datas) de produtos finais, é possível calcular as necessidades de todos os itens componentes.

3. Uso Comum de Itens

O uso comum de itens significa que matérias-primas e itens componentes são utilizados em mais de um tipo de produto. O MRP coleta estes itens de uso comum em diferentes produtos com objetivo de economizar nos pedidos de matérias-primas e componentes fabricados.

4. Itens Pais e Itens Filhos

Item pai é um item de estoque que tem componentes. Cada um destes itens componentes é um item filho do item pai. Se o item filho tem itens componentes, ele também é um item pai destes, que são, por sua vez, seus itens filhos. Na figura abaixo, os itens B e C são componentes do item A, portanto, o item A é o item pai dos itens B e C. O "2X" na figura representa que para cada produto final A, são necessárias duas unidades do item C e o item C tem seus itens filhos que são D e E.

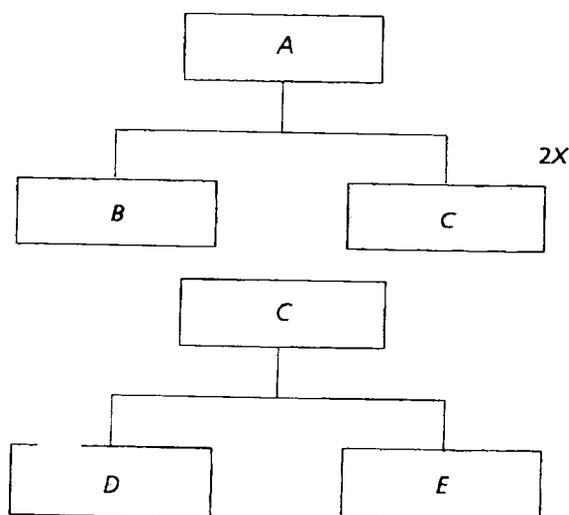


FIGURA 6 - Relações entre itens "pais" e itens "filhos".

Fonte: CORRÊA & GIANESI, 1996.



4.3 Entradas no Sistema MRP

O sistema MRP utiliza dados contidos em vários arquivos para garantir um bom funcionamento. Estes arquivos de informações, segundo ORLICKY (1975) são considerados entradas, são eles:

1. Planejamento Mestre de Produção.
2. Lista de Materiais
3. Registro de Inventário

4.3.1 Planejamento Mestre de Produção (PMP)

O Planejamento Mestre de Produção (PMP) coordena a demanda do mercado com os recursos internos da empresa, programando taxas adequadas de produção de produtos finais. Quando bem gerenciado, o PMP colabora com a melhora do processo de promessa de ordens para clientes, com melhor gestão de estoques dos produtos acabados, melhor uso e gestão da capacidade produtiva e melhor integração na tomada de decisão entre funções, permitindo que as decisões multifuncionais possam ser tomadas com base objetiva, suportada não em opiniões sem fundamentos, mas sim em dados.

O PMP permite oferecer aos clientes um nível adequado de serviços, dentro das restrições impostas pelos níveis de estoques, recursos produtivos e tempos disponíveis. Por meio do fornecimento de informações atualizadas sobre a situação presente dos programas da empresa e sobre sua condição de comprometer-se com pedidos ou solicitações de clientes, permite que o escalão gerencial da empresa desvie sua atenção onde mais interessa, em tempos de concorrência acirrada: num melhor atendimento ao cliente.

O Planejamento Mestre é definido por CORRÊA, GIANESI & CAON (1997) como um plano operacional, parte de um plano mais amplo e abrangente, que é o plano de vendas e operações, antes chamado apenas plano agregado de produção. O Plano Mestre de Produção deve ser

integrado com os planos de outras funções dentro da organização, como vendas, marketing, engenharia, finanças e manufatura.

O Planejamento Mestre é uma declaração de quantidades planejadas que direcionam sistemas de gestão detalhada de materiais e capacidade, baseada nas expectativas que tem-se da demanda e dos próprios recursos com os quais a empresa conta no presente e contará posteriormente.

4.3.1.1 Dados de Entrada do PMP

Os dados de entrada para o PMP, segundo SLACK et al. (1996), são a carteira de pedidos e a previsão de vendas.

Carteira de pedidos

A função de vendas, na maior parte das empresas, usualmente gerencia uma carteira de pedidos dinâmica e mutante formada por pedidos confirmados de clientes. Esta carteira de pedidos pode ser um registro em papel numa empresa pequena, mas tende a consistir em um arquivo de computador em empresas médias e grandes. Haverá, ainda, informações sobre cada pedido de um cliente nesta carteira. Os registros do que exatamente cada cliente pediu são de particular interesse para o processo de cálculo das necessidades de materiais do MRP.

Previsão de demanda

Independente do grau de sofisticação do processo de previsão numa empresa, é difícil utilizar dados históricos para prever tendências futuras, ciclos ou sazonalidades. Embora haja dificuldades, muitas empresas não têm opção - devem fazer previsões. Para satisfazer à demanda dos clientes em termos de velocidade de entrega, montadoras de automóveis, por exemplo, já fizeram estimativas quanto aos modelos, tipos de motores e cores que acreditam que serão vendidas, no momento em que o cliente colocar seu pedido. Quando o cliente coloca seu pedido, um dos modelos da cor escolhida e com o motor adequado já está em produção, sendo alocado a este cliente. O cliente pode no momento do seu pedido escolher a partir de larga faixa de opções,

em termos de acessórios, acabamento interior, sistemas de som e cor de vidros, etc., todas as quais podem ser agregadas à montagem principal, dando a efetiva impressão de personalização. A montadora tende prever o provável mix de modelos e cores que irá produzir, assim como o provável mix de opcionais para comprá-los e mantê-los disponíveis em estoque.

Combinando pedidos e previsões

A combinação de pedidos colocados e pedidos previstos é utilizada para representar a demanda em muitas empresas. É fundamental que a previsão usada para o planejamento da produção não seja um objetivo de vendas, que pode ser estabelecido de forma otimista de modo a motivar o esforço de vendas. Embora muitas empresas utilizem tais objetivos, a previsão deve ser algo diferente. Ela deve ser a melhor estimativa, em dado momento, daquilo que de forma razoável é esperado que aconteça.

Observando a figura 7, percebe-se que quanto maior a visão futura, menor a certeza a respeito da demanda. A maior parte das empresas tem conhecimento sobre a demanda em termos de pedidos individuais, a curto prazo. No entanto, poucos clientes colocam pedidos muito adiante no futuro. Uma previsão é adicionada, com base em dados históricos e em formações do mercado, obtidas a partir dos vendedores de campo para refletir a provável demanda. À medida que os pedidos são recebidos, o elemento de previsão do perfil de demanda deve ser reduzido, fazendo parecer que a previsão está sendo “consumida” ao longo do tempo pelos pedidos firmes (já confirmados).

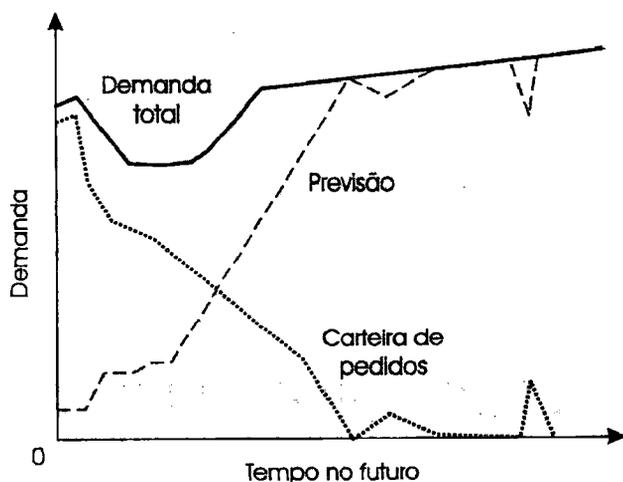


FIGURA 7 - Combinando carteira de pedidos e previsões

Fonte: SLACK et al. (1996)

Diferentes tipos de empresas têm diferentes perfis em termos do *mix* de pedidos firmes (já em carteira) e pedidos previstos. Uma empresa que trabalhe contra pedido (*make-to-order*) tende a ter maior visibilidade de seus pedidos firmes ao longo do tempo, em relação a empresas que produzem para estoque (*make-to-stock*), como um fabricante de bens de consumo duráveis. Empresas que trabalham totalmente sob encomendas (*purchase-to-order*) não compram a maioria de suas matérias-primas até que recebam um pedido firme do cliente. As empresas também não podem estabelecer contratos com a mão-de-obra ou equipamentos. Neste caso, as empresas podem ser denominadas *resource-to-order*. No extremo oposto, há algumas empresas que têm muito pouca certeza a respeito de seus pedidos, no momento em que tomam a maioria de suas decisões. Por exemplo, as editoras de jornais distribuem seus exemplares às bancas num sistema de consignação: isto é, a demanda real só lhes é evidente ao final do dia, quando podem calcular quantos jornais foram realmente vendidos. A importância da previsão para diferentes tipos de empresa está ilustrada na figura 8.

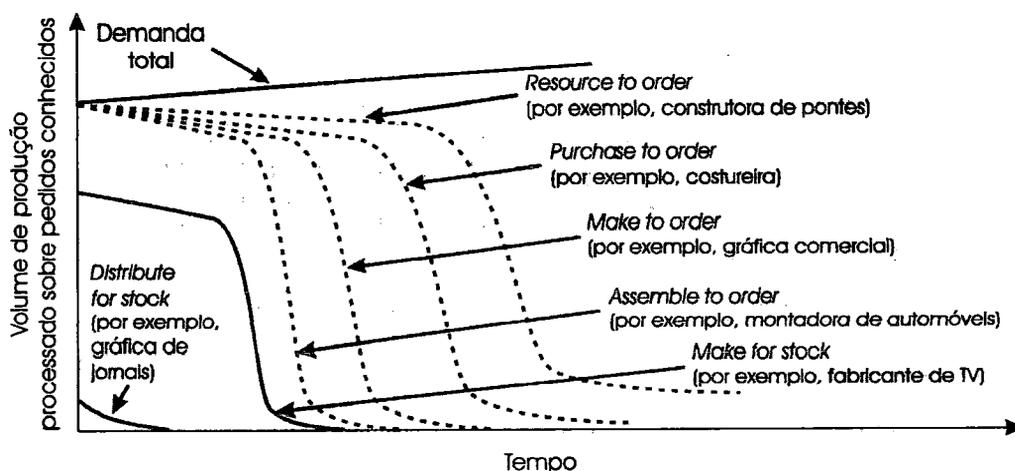


FIGURA 8 - A importância da previsão para diferentes tipos de empresa.

Fonte: SLACK et al. (1996)

Várias empresas têm que operar com uma combinação variável de pedidos firmes e previsões. Conseqüentemente, diferentes tipos de empresas têm diferentes graus de certeza sobre sua demanda, no momento em que tomam decisões de planejamento e controle da produção, sendo que esta certeza pode mudar ao longo do tempo. Numa perspectiva de planejamento e controle, o resultado da atividade da gestão da demanda é uma previsão sobre o futuro, em termos de que os clientes irão comprar. Esta informação, formada por pedidos firmes, previsões ou uma combinação de ambos, é a fonte mais importante para o programa mestre de produção, como citado anteriormente.

4.3.1.2 Funcionamento do PMP

É essencial compreender o funcionamento do PMP para gerenciá-lo da melhor forma possível. A seguir, serão detalhados os componentes para o bom funcionamento do PMP.

4.3.1.2.1 Registro básico do PMP

O registro básico do PMP é um suporte de informação à tomada de decisão sobre quais produtos acabados, em que quantidades e em que períodos produzir.

A principal função do PMP é balancear suprimento e demanda dos produtos acabados, período a período; definindo programas detalhados de produção desses produtos. Isto quer dizer, uma visão antecipada da demanda, levando em consideração todas as suas diferentes fontes, período a período, e compreender quais recursos serão necessários para satisfazer a essa demanda. Há muitos formatos de registro básico do PMP. Cada *software* comercial selecionado terá o seu registro com suas particularidades, mas todos serão, conceitualmente, semelhantes àquele mostrado na figura 9:

ITEM DE MPS LAPISEIRA P207	Atraso	1	2	3	4	5
Previsão de demanda independente						
Demanda dependente						
Pedidos em carteira						
Demanda total						
Estoque projetado disponível						
Disponível para promessa						
Programa-mestre de produção MPS						

FIGURA 9 - Registro Básico do PMP

Fonte: CORRÊA, GIANESI & CAON (1997)

Cada coluna do registro contém todas as atividades pertinentes ao PMP esperadas para ocorrer em um período específico. A natureza da atividade (relacionada a suprimento ou demanda) é determinada pela linha específica onde ocorre.

O número de períodos de um registro básico de PMP depende do horizonte e do período de planejamento selecionados pela empresa em questão. Cada período pode representar um dia, uma semana, uma quinzena ou mesmo um mês, mas na prática geralmente os eventos representados têm datas específicas (exemplo: 8 de fevereiro). As quatro primeiras linhas do registro mostrado na figura 9 referem-se à demanda.

A previsão de demanda independente significa a previsão da demanda que ocorrerá de forma independente da demanda de qualquer outro item no sistema. Para os produtos acabados refere-se

à previsão de demanda normal e para semi-acabados refere-se a unidades vendidas como peças de reposição ou peças para atividades de serviço pós-venda. A linha de demanda dependente identifica as quantidades do item em questão que serão vendidos no futuro, como parte de algum outro produto.

Os pedidos em carteira referem-se a ordens de clientes de produtos que já foram vendidos, mas ainda não foram despachados. A linha de demanda total representa a combinação dos três anteriores. Alguns sistemas MRP comerciais fazem com que a linha “Demanda Total” seja o resultado da soma das três demandas: independente, dependente e carteira. Como os pedidos colocados entram com previsões feitas, estes sistemas vão deduzindo as quantidades correspondentes da linha “Previsão de Demanda Independente” à medida que os pedidos vão entrando e aparecendo na linha de “Pedidos em Carteira”. A linha de previsão de demanda independente não deve, em princípio, ficar negativa (mesmo nos casos em que os pedidos em carteira para determinado período superam as previsões), mantendo-se neste caso zero.

Na linha do estoque projetado disponível, tem-se a quantidade que estará disponível em estoque do item de PMP em questão, em determinado momento no futuro. A lógica do algoritmo computacional do PMP baseia suas sugestões nesta linha, com o objetivo de balancear suprimento e demanda. A linha disponível para promessa é usada para suportar o processo de promessa de datas e quantidades para entrega a clientes e projeta, a grosso modo, o suprimento de produtos menos os pedidos em carteira. O resultado desta projeção informa aos setores de comercialização da empresa quais as quantidades, período a período, que podem ser prometidas aos clientes sem que o planejamento mestre de produção tenha de ser modificado. Esta informação pode ser de extrema importância se a empresa quer cumprir suas promessas de entrega..

4.3.2 Lista de materiais

A lista de materiais é o documento que define o produto através de sua estrutura, relacionando os elementos componentes de cada conjunto ou subconjunto. É possível criar uma base de dados através deste documento que especifique não só a composição mas também o estágio do processo

de fabricação, afirma SACOMANO (1990). Desta forma, a base de dados gerada pela lista de materiais define a estrutura do produto em termos de níveis de fabricação, cada qual representando o término de determinada fase de produção. Todos os itens componentes de um item final deverão ser identificados através de uma codificação padronizada e rigorosa de tal forma que um único código será utilizado em um item, independente do item final que o mesmo venha a fazer parte.

A árvore da estrutura de um produto é equivalente à um gráfico de montagem, portanto qualquer alteração introduzida no processo de fabricação modificará a lista de materiais e a árvore do produto correspondente.

São necessários alguns requisitos para organizar as listas de materiais, RESENDE (1989) coloca dois:

- cada lista de materiais deve refletir perfeitamente o método de produção do item que ela representa e deve conter a relação completa dos materiais componentes do mesmo.
- cada item da lista deve ser inequivocamente identificado (codificação rigorosa e padronizada).

A composição da lista, que tem sua origem na árvore de estrutura do produto, é importante para o planejamento das necessidades dos materiais porque é através dela que se estabelecem os aprazamentos precisos das necessidades, das liberações e prioridades das ordens sem esquecer dos *lead times* dos itens.

4.3.3 Registro de Inventário

O registro de inventário contém a informação das situações atual e futura de cada item em estoque. A equação clássica da situação do inventário foi formulada como sendo:

$$A + B - C = X \quad \text{Eq. (1)}$$

onde:

A = quantidade em mãos (estoque que está fisicamente na prateleira)

B = quantidade encomendada

C = quantidade necessária (levantada a partir de pedidos de clientes, previsões)

X = quantidade disponível (posição do estoque)

Desta forma, ORLICKY (1975) exemplifica a posição de um item no estoque:

Em mãos (A)	30	ou	30
Encomendada (B)	50		25
Necessária (C)	<u>65</u>		<u>65</u>
Disponível (X)	15		- 10

O resultado negativo da quantidade disponível significa que o item está sem cobertura e será necessário colocar uma ordem de aquisição do material. O sistema de inventário pode responder de forma satisfatória as questões de *o que* e *quanto* deve ser produzido, somente a questão *quando* permanece sem resposta pois a dimensão tempo está omitida. Por isso é necessária a introdução do *time phasing*, que significa adicionar a dimensão tempo aos dados referentes a situação do inventário, através do registro e do armazenamento de informações relativas às datas ou períodos de planejamento, com as respectivas quantidades associadas.

O conceito de *time-phased* (escalonamento no tempo) permite saber quando fabricar ou comprar um determinado item. Adicionando-se a dimensão tempo às informações disponíveis e colocando-as de forma priorizada, a situação do item pode ser representado da seguinte maneira:

Quantidade em mãos: 30	Períodos (semanas)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pedida	0	0	0	25						
Requerida	0	20	0	35	0	0	0	0	0	10
Disponível	30	10	10	-25	0	0	0	0	0	-10

FIGURA 10: *Time phasing* da posição de um item

Fonte: ORLICKY (1975)

Agora é possível responder a questão de *quando* produzir.

Observando a figura 10, percebe-se que o horizonte de planejamento é de dez períodos, neste caso, semanas. Existe uma quantidade pedida de 25 unidades que deverá ser recebida na quinta semana e há três semanas de: 20, 35 e 10 que ocorrerão na segunda, quarta e décima semanas, respectivamente. O estoque ficará descoberto na décima semana, sendo necessário que o processo de aquisição de material seja iniciado algum tempo antes, o que dependerá do *lead time* do item. Embora haja cobertura total até a 9ª semana, existe disponibilidade negativa na 4ª semana indicando uma defasagem entre as necessidades e os pedidos. Portanto é preciso que estes itens sejam programados em tempo hábil para cobrir as necessidades programadas.

4.4 Mecânica do MRP

O MRP se baseia num registro básico que representa a posição e os planos com respeito à produção e estoques de cada item, seja ele um item de matéria-prima, semi-acabado ou acabado, ao longo do tempo. Esse registro é chamado registro básico do MRP período a período. O registro básico compreende:

Período		1	2	3	4	5	6
Necessidades brutas			10		40	15	
Recebimentos programados		50					
Estoque projetado disponível	6	56	46	46	6	41	41
Plano de liberação de ordens					50		
Tempo de ressuprimento = 1 período							
Tamanho do lote = 50							

FIGURA 11 - Registro básico período a período do MRP

Fonte: CORRÊA & GIANESI (1996)

- **Período:** indica os períodos que o MRP vai considerar para o planejamento. Estes períodos podem variar de um dia até um mês, conforme o caso específico. O período que parece ser o mais utilizado é a semana.
- **Necessidades brutas:** as quantidades que representam a utilização futura ou demanda do item em questão durante cada período.
- **Recebimentos programados:** ordens firmes como as ordens já abertas de reposição de estoque para o item com recebimento programado para o início do período.
- **Estoque projetado disponível:** a posição e os níveis projetados de estoque do item, disponíveis ao final de cada período.
- **Plano de liberação de ordens:** ordens planejadas a serem liberadas no início de cada período.
- **Tempo de ressuprimento:** é o tempo que decorre entre a liberação de uma ordem e a completa disponibilidade do material correspondente para utilização.
- **Tamanho do lote:** idealmente, as ordens colocadas seriam do tamanho exato necessário. Entretanto, a empresa pode optar por trabalhar com lotes de produção para fazer frente a eventuais custos fixos em relação à quantidade produzida.

O número de períodos no registro é chamado horizonte de planejamento e representa o horizonte de períodos futuros para os quais planos são feitos. As necessidades brutas representam as ordens firmes de reposição de estoque para o item, são consideradas período a período e não em termos agregados ou médios. Isto permite que fatores como ciclicidade possam ser considerados. Uma necessidade bruta em determinado período não será satisfeita a menos que o item esteja disponível durante aquele período. Disponibilidade se consegue tendo o item em estoque ou recebendo uma quantidade suficiente através de um recebimento programado ou planejado, a tempo de atender à necessidade bruta.

Outra convenção relacionada ao tempo é a disponibilidade. O item deve estar disponível no início do período no qual aparece a necessidade bruta. Assim, os procedimentos de programação do MRP devem ser feitos de forma tal que qualquer ordem deve estar disponível em estoque no início do período para o qual ela é necessária.

A linha de recebimentos programados descreve a situação das ordens já abertas para o item. Esta linha mostra as quantidades referente às ordens abertas e os momentos nos quais se espera que elas sejam completadas. Recebimentos programados são resultado de decisões tomadas anteriormente e representam uma fonte do item para atender a necessidades brutas.

O estoque projetado disponível representa o balanço depois de os recebimentos programados e planejados terem sido recebidos e as necessidades brutas terem sido satisfeitas.

A linha de plano de liberação de ordens é determinada a partir da linha de estoque disponível projetado. Sempre que a linha de estoque disponível projetado apresentar uma quantidade insuficiente para satisfazer uma necessidade bruta (balanço negativo), material adicional tem de ser providenciado. Isto é feito criando-se uma liberação de ordem planejada para um período com suficiente antecedência (dada pelo *lead time* do item) para permitir que o balanço de estoque disponível projetado não fique negativo.

O MRP libera ordens planejadas como resultado aritmético da situação das necessidades brutas, recebimentos programados e estoque disponível projetado. Quando uma ordem planejada se encontra no período presente, isto quer dizer que ela está no “período de ação”. Uma quantidade relacionada a uma ordem planejada no período de ação quer dizer que alguma ação é necessária já, assim evita-se problemas futuros, como falta de material. A ação é liberar, abrir a ordem, o que a converte em recebimento programado no registro do MRP.

O recebimento de ordens planejadas não é mostrado na linha de recebimentos programados porque elas ainda não foram liberadas para produção ou compra. Nenhum material foi comprometido com sua manufatura, isto é apenas uma intenção de produzir ou comprar e

significa que esta situação pode ser cancelada ou alterada. Para os recebimentos programados a alteração implica descontinuação de ações já iniciadas, não sendo mudadas automaticamente pelo sistema. Para tornar possível a alteração de um recebimento programado, o programador geralmente tem de interferir nos registros do sistema.

A compreensão do funcionamento do registro básico do MRP é fundamental para o entendimento de um sistema como um todo. É o registro básico que vai permitir o encadeamento lógico pai-filho entre os vários componentes de um produto.

4.4.1 Cálculo MRP

Nesta parte, serão vistas as maneiras como os cálculos das quantidades e seus respectivos momentos serão executadas, tendo início no cálculo das necessidades líquidas.

Processo de cálculo das necessidades líquidas

A figura 12 mostra o processo no qual o MRP calcula as quantidades de materiais necessários. O MRP toma o PMP e “explode” este programa através da lista de materiais de nível único, verificando quantas submontagens e componentes serão necessários. Antes de seguir para o nível mais baixo da estrutura do produto, o MRP verifica quanto dos materiais necessários já estão em estoque. Ele então gera as “ordens de trabalho” ou requisições para as necessidades líquidas dos itens que serão feitos na fábrica. O programa que será explodido através da lista de materiais de nível único para o próximo nível abaixo da estrutura é formado pelas necessidades líquidas. Mais uma vez o estoque disponível desses itens é verificado; as ordens de trabalho são geradas para as necessidades líquidas dos itens que serão feitos na fábrica, as ordens de compras para as necessidades líquidas dos itens que serão adquiridos de fornecedores também são geradas.

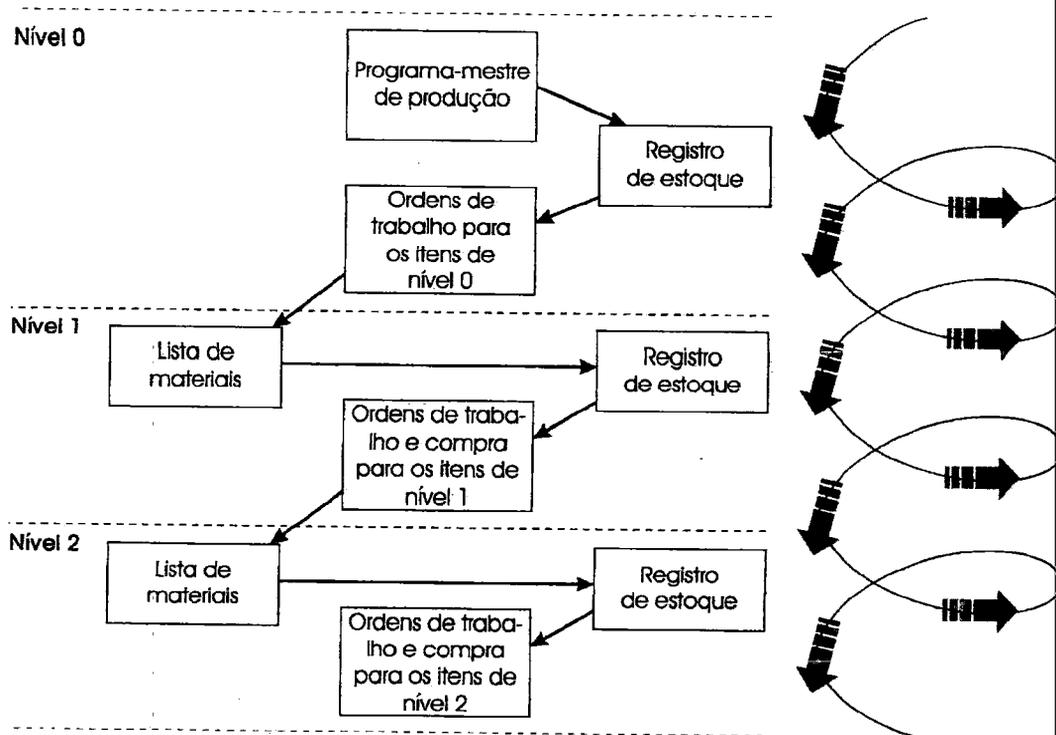


FIGURA 12 - O cálculo de necessidades líquidas no MRP

Fonte: SLACK et al. (1996)

Programação para trás

O MRP também considera quando cada um dos componentes do produto é necessário, ou seja, os momentos da programação de materiais. Este processo é denominado de programação para trás, pois leva em conta o lead time de cada nível de montagem. Entretanto, alguns itens só podem ser adquiridos em tamanhos de lotes mínimos devido ao tempo e custo de preparação de máquina. Da mesma forma, alguns itens comprados são adquiridos em embalagens fechadas em quantidades tais que se obtenha um desconto, mesmo comprando uma quantidade acima do necessário. Outro motivo para a compra ou produção acima do necessário é ter uma margem de segurança para o caso de variações não planejadas, tanto na demanda como no fornecimento.

4.5 Saídas do MRP

O sistema MRP gera uma gama variada de saída, que são utilizadas no planejamento e controle da produção. Algumas destas saídas são listadas por GROOVER (1987):

- Avisos de reprogramações, indicando alterações nas datas de vencimento das ordens já abertas.
- Avisos de cancelamento, indicando que certas ordens abertas foram canceladas devido a alterações no planejamento mestre de produção.
- Liberação das ordens, as quais autorizam a colocação das ordens que foram planejadas pelo sistema MRP.
- Relatórios sobre a situação do inventário.
- Relatório referente as ordens planejadas para períodos futuros.

CAPÍTULO 5

SIMULAÇÃO

5.1 Histórico e Conceito

A simulação foi inicialmente utilizada na II Guerra Mundial como um experimento de amostragem chamado método de Monte Carlo, que se refere a experimentos onde números aleatórios são gerados. Este método é constituído de partes de atividades que são divididas em tarefas, cada uma delas descrita matematicamente sem uma preocupação excessiva com a complexidade.

Segundo SHANNON (1975), a simulação é o processo de criar um modelo de um sistema real ou proposto e conduzir experimentos neste modelo, com o propósito de entender o comportamento deste sistema ou avaliar diversas estratégias para a sua operação. Tem como finalidade permitir ao analista tirar conclusões sobre novos sistemas sem precisar construí-los ou fazer alterações em sistemas já existentes sem perturbá-los; possibilitar aos gerentes visualizar a operação de um sistema novo ou existente, sob várias condições; analisar as interações entre sistemas e entender como vários componentes interagem entre si e como estes afetam todo o desempenho do sistema.

Se as relações que compõem o modelo são simples, pode-se utilizar métodos matemáticos (também chamados soluções analíticas) como a álgebra, o cálculo ou teoria de probabilidade para obter informações exatas deste modelo. Como a maior parte dos sistemas reais são complexos, torna-se mais viável o uso da simulação e para avaliar os modelos destes sistemas, afirmam LAW & KELTON (1991).

5.2 Tipos de Modelo e Finalidade

Os estudos em simulação são objetivos ou direcionados a alguma meta. Os objetivos surgem da necessidade dos tomadores de decisão de analisar e entender um problema e/ou avaliar e calcular os resultados de intervenções pré-meditadas. Um problema é criado pela necessidade

observada de trazer um sistema a um estado mais desejável. Uma intervenção pré-meditada deve estar na forma de uma mudança física no sistema, uma ação de controle modificada ou um novo procedimento.

Os objetivos ou metas do usuário ditam o desenho apropriado do modelo, o experimento a ser rodado através deste desenho e a análise a ser feita. Tais objetivos devem especificar a parte do sistema real de interesse e o grau de acuracidade nas medidas necessárias. Idealmente, o sistema vai interpretar e entender os requisitos do usuário e então determinar o que é necessário em termos de dados de entrada, técnicas para processar a informação e o tipo de informação que será saída.

Muitos modelos diferentes de um mesmo sistema de manufatura podem ser feitos, sendo que cada um enfocará uma meta particular ou uma proposta. A proposta de um modelo de simulação é integrar conjuntos de objetos desconectados e suas relações num todo coerente que mostrará os efeitos da interação dessas relações.

Estuda-se um sistema para medir sua atuação, melhorar suas operações ou projetá-lo se ele ainda não existe, afirmam KELTON, SADOWSKI & SADOWSKI (1998). Entende-se por sistema um conjunto de partes coordenadas entre si. O modelo é a representação útil de algo; é uma representação da realidade expressa em termos de algum formalismo, que pode ser uma linguagem mais ou menos formal e feita de construções. Uma linguagem mais formal de se representar modelos é a linguagem matemática enquanto a menos formal são as linguagens naturais. Pode-se ter também outras formas de linguagem como símbolos, gráficos ou diagramas. A finalidade do modelo é justamente representar os fluxos de dados, equipamentos e outros componentes de um sistema para servir como base para a montagem de um sistema de simulação.

Um exemplo de modelo natural, também chamado modelo físico, são os simuladores físicos de vôo utilizados para treinar pilotos. Há ainda programas computacionais para simulação de vôos na forma de jogo. Já o modelo matemático, ou modelo lógico, é um conjunto de aproximações e hipóteses, estruturais e quantitativas, sobre a forma de como o sistema funciona ou funcionará. Um modelo lógico é geralmente representado através de um programa de computador que é instruído a enviar perguntas a respeito do comportamento do modelo; se o modelo é uma

representação válida do sistema, muitas informações serão obtidas a respeito deste último. Uma vez que lida-se com um programa de computador e não com o sistema real, geralmente é fácil, rápido e barato de se obter respostas para várias perguntas sobre o modelo e o sistema simplesmente manipulando as entradas e saídas deste programa, esclarecem KELTON, SADOWSKI & SADOWSKI (1998). A figura 13 ilustra as formas de se estudar um sistema:

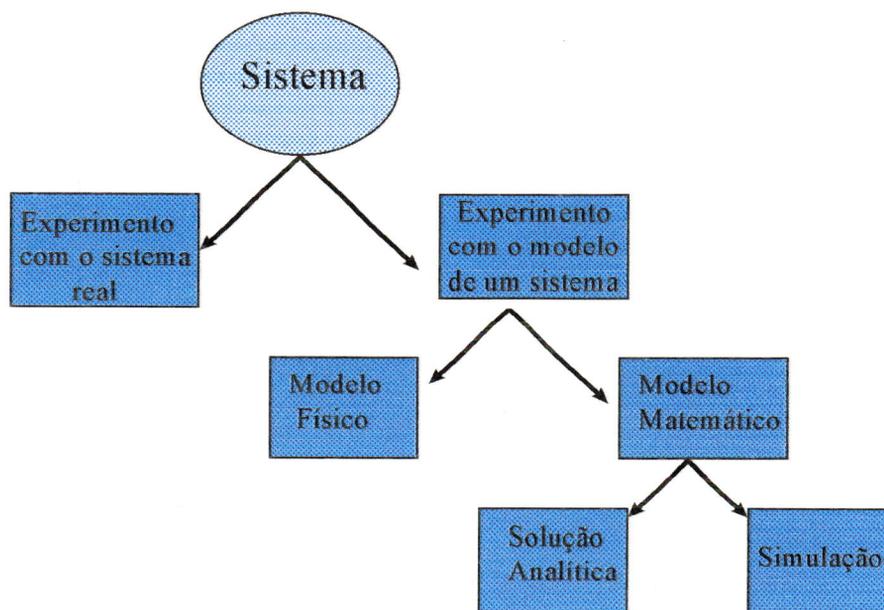


FIGURA 13: Formas de se estudar um sistema

Fonte: LAW & KELTON (1991)

As entradas, segundo DRAKE & SMITH (1996), podem ser as definições do produto (exemplo: rotas, tempos de processo, lista de materiais, necessidades dos recursos), a demanda do produto (quantidades do pedido, datas de entrega, prioridade), as relações do recurso (grupos de recurso) e calendários de trabalho (turnos alternativos). As saídas são os tempos iniciais e finais para as tarefas no sistema. Estes tempos devem incluir informações adicionais tais como códigos de tarefa, produtos defeituosos ou recursos utilizados.

A simulação computacional lida com modelos de sistemas, reais ou planejados, tais como:

- uma fábrica com máquinas, pessoas, equipamentos de transporte e espaço para estoque;
- um banco ou outra operação de serviço pessoal, com diferentes tipos de clientes, caixas automáticos, caixas convencionais e mesas de atendimento ao cliente;
- um hospital, com vários pacientes, quartos, equipamentos e transporte de pacientes;
- um restaurante do tipo *fast food* com vários operadores, clientes, equipamentos e fornecedores;
- um supermercado com controle de inventário e serviço ao cliente.
- uma seguradora onde vários papéis são recebidos, revistos, arquivados e enviados aos clientes.

Através da simulação, é possível obter algum discernimento sobre a natureza de um processo, identificar problemas específicos ou áreas problemáticas dentro de um sistema, desenvolver políticas ou planos específicos para um processo, testar novos conceitos e/ou sistemas antes de suas implementações e aumentar sua eficiência, afirmam LAW & KELTON (1991).

A simulação não otimiza, pode apenas demonstrar apenas os resultados de perguntas como “E Se”. Além disso, não fornece resultados precisos se os dados não forem precisos, como também não descreve características do sistema que não forem explicitamente modeladas. Por fim, não soluciona problemas, apenas fornece informações, explicam LAW & KELTON (1991).

Na simulação, lembram KELTON, SADOWSKI & SADOWSKI (1998), é preciso primeiramente focar a atenção no entendimento de como o sistema funciona na realidade. É muito comum os analistas de simulação pensarem que o processo de definir como o sistema funciona, que deve ser feito antes de se começar a desenvolver o modelo de simulação, fornece grande visão de quais mudanças são necessárias ao sistema. A simulação é muito mais do que construir um modelo e conduzir um experimento estatístico, há muito conhecimento envolvido em cada passo de um projeto de simulação.

5.3 Linguagens e Softwares de Simulação

A maior parte das linguagens de simulação representa tecnologia dos anos 60 e são uma extensão da forma tradicional de programação. Inicialmente escreviam-se programas de computador em linguagem de proposta geral como FORTRAN para simular sistemas mais complexos. GORDON (1969) cita ainda as seguintes linguagens de simulação: GPSS, SIMSCRIPT e DYNAMO. Nos anos 70 surgiram as linguagens de simulação SLAM e SIMAN e, recentemente (anos 90), as linguagens de proposta geral PASCAL e C. Atualmente, tem surgido novas idéias relacionadas a modelagem de simulação e desenvolvimento de linguagens. As vantagens de utilizar uma linguagem de simulação e não uma linguagem de proposta geral como o PASCAL, C, FORTRAN ou BASIC são, segundo LAW & KELTON (1991):

- As linguagens de simulação automaticamente fornecem a maior parte das características necessárias na programação de um modelo de simulação, o que diminui de modo significativo o tempo gasto na programação.
- Os modelos de simulação geralmente são mais fáceis de serem alterados quando escritos numa linguagem de simulação.
- As linguagens de simulação detectam erros com mais facilidade porque muitos erros são identificados e checados automaticamente.

Além da programação, a simulação também pode ser feita através da utilização de softwares comerciais ou simuladores. Um simulador é um pacote de computador que permite a simulação de um sistema contido numa classe específica de sistemas com pouca ou nenhuma programação. Há simuladores para sistemas de manufatura, de computadores ou de telecomunicações e uma das vantagens sobre as linguagens de simulação é que o tempo de desenvolvimento do modelo é menor. Outras vantagens dos simuladores são a facilidade de uso e a animação do modelo.

Entre alguns pacotes de simulação (linguagens e simuladores) disponíveis no mercado pode-se citar o Arena/SIMAN, SlamSystem&trade, FACTOR&trade, AutoMod/AutoSched&trade, ProModel,PROVISA&trade, Witness&trade, ServiceModel, SimProcess, ARIS, GPSS,

MODSIM II, SIMULA, SLAM II, SPICE, REAL, ROSS, entre outros, de acordo com DRAKE & SMITH (1996).

5.4 Tipos Diferentes de Simulação

Há várias formas de se classificar os modelos de simulação, mas uma maneira útil está relacionada a três dimensões, segundo KELTON *et al.* (1998):

- Estática vs. Dinâmica: Nos modelos estáticos o tempo não tem papel importante ao passo que nos modelos dinâmicos ocorre justamente o contrário. A maior parte dos modelos operacionais são dinâmicos.
- Contínuo vs. Discreto: Num modelo contínuo, o estado do sistema pode mudar continuamente no tempo; um exemplo seria o nível de um reservatório assim que a precipitação e evaporação ocorrem. Num modelo discreto, a mudança de estado pode ocorrer em pontos separados no tempo, tal como num sistema de manufatura onde peças chegam e saem, máquinas trabalham e quebram em tempos específicos.
- Determinístico vs. Estocástico: Modelos que não têm entradas aleatórias são determinísticos, um exemplo são operações orientadas por uma agenda rigorosa com tempos fixos de serviço. Modelos estocásticos operam com entradas aleatórias, como num banco com clientes chegando aleatoriamente e requerendo tempos de serviço variáveis.

5.5 Etapas da Simulação

A resolução de qualquer problema usando o computador envolve a aplicação de uma metodologia, afirma INGELS (1985). O processo de construção de um modelo para simulação varia de acordo com o tipo de situação a ser estudada. Há ponderações fundamentais para determinadas situações e, mudando-se o enfoque de estudo, estas mesmas ponderações passam a ser dispensáveis em novas situações. LOBÃO & PORTO (1997) propõem um roteiro para sistematização da simulação, sendo que o grau de complexidade do projeto, os recursos

financeiros e a experiência dos projetistas apontarão a necessidade ou não da aplicação de cada uma das etapas do roteiro. É importante lembrar que a experiência é atingida após alguns erros, o que representa custo e/ou tempo. Sendo assim, o grau de complexidade não deve ser subestimado e a sistematização representa uma maneira de otimizar o desenvolvimento do processo.

Etapa 1: Definição do problema e dos objetivos do estudo

O entendimento do funcionamento do sistema é imprescindível para o sucesso da construção do modelo, pois caso ocorra algum equívoco na sua compreensão o projetista provavelmente seguirá um caminho errado. Até a identificação das prováveis falhas, o trabalho realizado terá sido inútil e deverá ser feito novamente. Nesta etapa é fundamental uma boa interação entre o projetista e o cliente (usuário do modelo), através desta interação o projetista deve:

- procurar conhecer em detalhes qual o propósito do estudo de simulação;
- identificar, de maneira correta, quais as entradas necessárias e saídas desejadas do modelo;
- descobrir qual o comportamento desejado do sistema a ser modelado.

Uma boa forma de se atingir as metas acima citadas é procurar responder as seguintes perguntas:

- quais as questões o estudo de simulação deve ajudar a responder imediatamente?
- quais as questões o estudo de simulação deve ajudar a responder num futuro próximo (de forma a permitir futuras expansões no sistema) ?
- quem serão os principais usuários do modelo?
- quem realizará a manutenção do modelo?
- quais os recursos serão necessários para conclusão do estudo?
- quais limitações serão impostas ao estudo?
- onde o trabalho será realizado?
- quais os prazos para finalização do estudo?

Realizado o entendimento do problema e dos objetivos do estudo, a próxima etapa será a construção de um esboço de modelo para estudo do fluxo de dados e da hierarquia entre os módulos componentes do modelo. A interação projetista/cliente não termina nesta etapa, uma vez que o acompanhamento do processo por parte do cliente será muito útil para o desenvolvimento do modelo.

Etapa 2: Elaboração de um esboço do modelo

Nesta etapa o projetista deve elaborar um esboço do que será o modelo do sistema, visando a realização dos primeiros estudos sobre o fluxo de informações, a disposição física dos diversos componentes, a hierarquização dos módulos, entre outros.

Uma forma muito utilizada é dividir o sistema em vários subsistemas, transformando um grande problema em um conjunto composto por diversos outros pequenos problemas, os quais serão mais facilmente gerenciáveis. De acordo com o enfoque do estudo, o modelo pode ser organizado sob diferentes abordagens: tomando por base o arranjo físico dos componentes do sistema, o fluxo de informações, a hierarquização dos módulos, etc.

Em função da abordagem escolhida para a construção do modelo, algumas linguagens e ferramentas de modelagem podem ser úteis na sua construção. Inicia-se neste ponto, a escolha de técnicas e softwares que melhor se enquadram à situação. Segundo um estudo de JANSSEN, JONKERS & VERHOOSSEL (1997), os critérios que determinam a aplicabilidade de ferramentas e linguagens são: *funcionalidade*, onde estão incluídos expressividade, estruturação, poder de análise e relevância de conceitos; *facilidade de uso* e *propriedades gerais* das ferramentas como custo, apoio ao usuário e aceitação no mercado.

As linguagens de modelagem estão classificadas em três categorias: *linguagens orientadas a processo*, *linguagens orientadas a dados* e *linguagens híbridas*. As linguagens orientadas a processo são distinguidas nas seguintes tendências:

- Linguagens baseadas em gráficos. Algumas linguagens são baseadas em nodos, que correspondem a ações ou atividades, conectadas a algum tipo de extremidade. Um exemplo é o diagrama de fluxo de dados.
- Redes de Petri. As Redes de Petri são consideradas como uma tendência a parte pois há tipos diferentes de Redes de Petri utilizadas na modelagem de processo.
- Processos de Álgebra. São populares por especificarem sistemas simultâneos. Exemplos: CSP e LOTOS.
- Linguagens de Simulação e Modelos de Filas. As linguagens de simulação e modelos de filas geralmente são usados quando há um modelo quantitativo de um processo. Na verdade, muitas linguagens de simulação utilizam conceitos derivados de modelos de filas. Exemplo: SIMAN.

Objeto, segundo ADIGA & GLASSEY (1991), é definido como uma coleção de dados privados e comportamentos dos quais o objeto é capaz de ter. Os dados são armazenados em variáveis-modelo que não podem ser acessados diretamente por outros objetos. Cada comportamento é definido por um procedimento conhecido como método; o conceito de um objeto combina os atributos de dados e procedimentos. Os objetos se comunicam entre si através de mensagens, quando um objeto recebe uma mensagem, ele ativa um método correspondente.

As linguagens orientadas a dados têm as seguintes tendências:

- Modelos Entidades-Relacionamento. Os modelos entidade-relacionamento são utilizados para especificar a parte estática dos processos, ou seja, os dados integrantes do processo e suas relações. Os diagramas entidade-relacionamento são amplamente usados.
- Especificações Funcionais. Concentra-se nas propriedades dos dados. Exemplo: IDEF0.

Nas linguagens híbridas tem-se:

- Modelagem orientada a objeto. Neste tipo de modelagem combina-se dados e operações em classes e define-se as relações entre elas.

- Linguagens de fluxo de dados. As linguagens de fluxo de dados mostram como os dados são movidos entre atividades diferentes e como são armazenados. Geralmente os diagramas entidade-relacionamento são utilizados em conjunto.

Etapa 3: Aquisição dos dados

O processo de aquisição de dados pode ser facilitado pela observação do esboço do modelo (construído na etapa anterior), pois através dele podem ser facilmente identificadas as entradas e saídas mais relevantes. Os meios para obtenção destas informações variam: para sistemas já existentes, as informações podem ser obtidas a partir de dados históricos armazenados pela empresa ou através de medições no próprio local. Para sistemas ainda não implementados, os dados podem ser adquiridos através de catálogos de fabricantes, de entrevistas com operadores de sistemas similares ou com os projetistas dos equipamentos.

A identificação de quais entradas e saídas são controláveis e quais são incontroláveis também é importante. A partir daí propõe-se soluções para eliminar ou atenuar os problemas (as condições ambientais deterioradas podem ser incontroláveis em um ambiente industrial e uma possível solução é a utilização de equipamentos com blindagem mais robusta - não elimina o problema mas atenua os seus efeitos).

Após a coleta destes dados, um fator muito importante é a determinação de como estes dados variam, ou seja, qual o tipo de distribuição de probabilidade que mais se assemelha à distribuição apresentada pelos dados coletados. Algumas possíveis maneiras para responder esta questão são:

- através da análise de resíduos da distribuição;
- construção de histogramas e comparação com curvas de distribuição padronizadas;
- testes de aderência, entre outros.

Etapa 4: Validação dos dados

Dados inconsistentes ou não acurados podem conduzir a resultados equivocados que tiram a credibilidade do estudo de simulação. Algumas formas de verificar a validade dos dados são:

- coletar dados de fontes diferentes e verificar se os grupos de dados coletados são similares;
- construir um histograma com os dados coletados e comparar com os tipos de distribuições probabilísticas mais adequadas para descrever o tipo de dado considerado, verificando se há semelhança entre eles;
- ao realizar a primeira corrida de simulação com os dados coletados, verificar se os mesmos produzem resultados que não sejam compatíveis com a realidade.

Etapa 5: Construção de um modelo para realização do estudo de simulação

Nesta etapa será construído o modelo propriamente dito para realização do estudo de simulação e a escolha do software simulador adequado é um fator bastante importante para o sucesso do estudo. Se as gerações iniciais de simuladores exigiam dos usuários conhecimentos sobre modelagem e simulação, sobre o processo a ser estudado, sobre estatística e programação de computadores, as gerações atuais de simuladores contam com módulos gráficos e de inteligência artificial que permitem a realização de estudos de simulação por usuários que não possuem conhecimentos profundos em tais áreas. Uma vez que o próprio software auxilia nas fases de modelagem e realização dos cálculos matemáticos, o usuário precisa somente ter conhecimentos sobre o processo a ser estudado e para a análise dos relatórios apresentados. Por isso é importante que o pacote de software simulador selecionado seja adequado ao uso que lhe será dado.

Outro fator importante é o dimensionamento do modelo: é preciso cautela para que não haja superdimensionamento. Se a falta de identificação das variáveis e na construção do modelo podem trazer inconsistências ao mesmo, também um modelo superdimensionado pode tornar o sistema muito complexo. Como consequência os custos aumentam e a velocidade de processamento do

modelo diminui, além de dificultar a sua compreensão e o trabalho de manutenção, reduzindo a sua confiabilidade.

Etapa 6: Validação do modelo

É muito importante que o modelo construído esteja consistente em relação ao que ocorre no mundo real, pois os resultados obtidos do estudo de simulação estão diretamente relacionados com a fidelidade com que o modelo representa o sistema real - modelos mal formulados inevitavelmente produzirão resultados que não descrevem adequadamente a realidade. O processo de validação de um modelo é similar ao de validação dos dados e ambos estão fortemente interrelacionados. Algumas abordagens para validação dos modelos podem ser listadas:

- o futuro usuário do modelo deve responder se o modelo produz corretamente todas as respostas desejadas;
- discutir com o cliente quais as variáveis foram dispensadas na construção do modelo e quais os tipos de aproximações foram realizadas;
- verificar se o modelo produz resultados fisicamente impossíveis;
- solicitar que um operador familiarizado com o equipamento em estudo assista a uma corrida de simulação (com animação) e procure encontrar algum problema;
- solicitar que um outro modelador experiente realize uma revisão no modelo;

Etapa 7: Projetar o experimento

Nesta etapa propõe-se procedimentos e testes para analisar e comparar as diversas opções de resolução do problema. Para os diferentes experimentos realizados, uma mesma sequência de eventos deve ser criada novamente para que técnicas de redução de variância possam ser aplicadas de maneira a ressaltar os contrastes entre as diversas opções de resolução do problema. Seria também interessante que, a cada nova configuração experimental, uma nova bateria de testes de validação fosse realizada para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos. No planejamento do experimento, algumas questões devem ser respondidas:

- para quais configurações do sistema as replicações serão realizadas?
- sob que condições cada corrida será realizada?
- qual a duração de cada corrida?
- quantas replicações de cada opção devem ser realizadas de maneira a se obter o grau de confiança desejado?

Etapa 8: Executar o experimento e analisar os resultados

A execução da simulação deve ser feita somente depois que os passos anteriores tenham sido executados, visando um melhor aproveitamento do estudo e garantindo a qualidade dos resultados obtidos. Para uma boa qualidade da análise dos resultados, cada opção testada deve ser cuidadosamente documentada. Estes dados (entradas utilizadas e saídas da simulação) devem ser organizados em forma de tabelas e de gráficos armazenados em uma base de dados para uma análise posterior final.

Etapa 9: Refinar o projeto do experimento

Caso os resultados obtidos na etapa anterior não se apresentem satisfatórios para resolução do problema, a alternativa é a repetição da etapa 7 - projeto do experimento (assumindo que a validação dos dados e do modelo foram realizadas convenientemente e sem erros).

Etapa 10: Análise final dos resultados e documentação do processo

Deve-se considerar dois aspectos importantes quando da finalização do processo: o conteúdo e organização da documentação produzida e o controle de acesso à mesma.

- **produção de documentação:** a documentação final, que terá por objetivo fornecer uma rápida e clara compreensão do sistema por outros usuários quando da necessidade de ampliações ou manutenção do modelo, deverá conter, ao menos:
 - uma lista de referências cruzadas de entrada e saída;
 - a documentação do desenvolvimento do processo de modelagem completo;

- uma lista com o nome de todas as variáveis, os valores a elas atribuídos e cada uma das distribuições de dados anotada;
- relatório sobre os procedimentos executados para coleta de dados;
- uma análise estatística bem documentada dos dados de saída e uma classificação qualitativa e comentada das possíveis soluções para o problema identificadas no estudo;
- relatório comentando a relação custo/benefício das opções recomendadas pelo estudo de simulação;
- listagem com o nome e dados relevantes de todas as pessoas envolvidas no processo;
- réplicas atualizadas do modelo computacional produzido com cópias de segurança armazenadas em local seguro.

- **acesso restrito a documentação:** devido as amplas facilidades de modificação de um modelo computacional, pessoas que não participaram do processo podem involuntariamente alterar a configuração do sistema. Algumas maneiras de evitar este problema são: instalação de senhas de acesso aos programas, exigências de chaves de *hardware* (“hard-keys”) para utilização do sistema, chaves convencionais para acesso aos equipamentos ou utilização de uma linguagem cifrada de conhecimento restrito a alguns membros da equipe.

Na verdade, a documentação deve ocorrer desde as primeiras etapas do processo, pois as informações ainda estão “frescas” na mente do modelador.

5.6 Vantagens da Simulação

Algumas das vantagens da simulação, de acordo com LAW & KELTON (1991), são:

- Utilização em sistemas reais e complexos com elementos estocásticos que não podem ser descritos de uma forma acurada por um modelo matemático.
- Possibilidade de estimar o desempenho de um sistema já existente sob determinadas condições pré estabelecidas.
- Melhor controle das condições experimentais.

- Os dados da simulação representam menor custo do que os dados obtidos de um sistema real.

5.7 Aplicações da Simulação

Há numerosas aplicações da simulação em diferentes contextos. BANKS & CARSON II (1984) listam algumas áreas de aplicação:

- Simulação de operações em grandes aeroportos.
- Simulação em cruzamento no trânsito para saber qual a melhor seqüência de funcionamento dos semáforos.
- Simulação de batalhas militares para avaliar os sistemas defensivos e ofensivos.
- Simulação de sistemas de telecomunicações para determinar a capacidade dos respectivos componentes que serão necessários para fornecer um serviço satisfatório ao nível mais econômico possível.
- Simulação de operação em sistemas de irrigação para determinar a melhor configuração ou a quantidade de água necessária para irrigar uma lavoura.
- Simulação da manufatura.

Entre algumas aplicações genéricas da simulação no controle de produção, podemos citar a definição de máquinas, falhas das máquinas, tempos de reparo, tempos de processo, operadores, ferramentas, transportadores, áreas de estoque, *layout*. A simulação também pode auxiliar a área de marketing e vendas predizendo de forma confiável os *lead times* dos pedidos e prometendo datas de entrega. Utilizando a simulação desta forma, pode-se diminuir a quantidade de produtos semi-acabados e cumprir os prazos de entrega prometidos.

5.8 Simulação com JIT e MRP

Esta seção aborda dois estudos em simulação sobre o uso do Kanban, sendo um de caráter explorativo e o outro de caráter comparativo.

5.8.1 Objetivos da Simulação na Manufatura

A definição de sistema de manufatura, de acordo com GERSHWIN (1994), é de um conjunto de máquinas, elementos de transporte, operadores, computadores, estoques e outros itens que são utilizados de forma conjunta para a manufatura. Alguns termos alternativos para sistema de manufatura são fábrica, sistema de produção e recursos de fabricação.

Um dos maiores benefícios da utilização da simulação num ambiente de manufatura é a possibilidade de se obter uma visão ampla dos efeitos de mudanças “locais” neste sistema. Se uma alteração é feita numa determinada estação de trabalho, o impacto desta ação no desempenho desta estação pode ser previsto, afirmam BANKS et al (1996).

Há outros benefícios que a simulação oferece nas análises de manufatura, entre eles:

- Redução de produtos semi-acabados.
- Melhor confiabilidade na entrega dos pedidos.
- Menor investimento de capital ou em despesas operacionais.
- Maior segurança de que o sistema proposto irá operar como planejado.

A simulação abrange um número particular de assuntos relacionados à manufatura, que podem ser classificados em três categorias, afirmam LAW & KELTON (1991):

1. Necessidade de equipamento e pessoal

- Número e tipo de máquina necessários para um determinado objetivo (ex.: produção de 1000 peças em uma semana).
- Número, tipo e arranjo físico de transportadores (ex.: empilhadeiras e veículos autoguiados).
- Avaliação de uma mudança no volume ou no mix de um produto (ex.: impacto de novos produtos).

- Avaliação do efeito de um novo equipamento (ex.: um robô) numa linha de manufatura já existente.
- Avaliação de investimentos de capital.

2. Avaliação de desempenho

- Análise de fluxo de materiais.
- Análise de gargalo.
- Análise de *lead time*.

3. Avaliação de procedimentos operacionais

- Programação de produção.
- Estratégias de controle.
- Planos de ação para níveis de inventário de matéria-prima ou de semi-acabado.

Há muitas medidas de desempenho obtidas a partir de um estudo de simulação de um sistema de manufatura, entre elas:

- Fluxo de materiais.
- Tempo das peças no sistema (*lead time*).
- Tempo gasto pelas peças nas filas.
- Prazo de entrega.
- Tamanhos dos inventários de produtos semi-acabados.
- Utilização de equipamento e pessoal.
- Quantidade de peças que são retrabalhadas.

5.8.2 Simulação em ambientes de manufatura administrados pelo sistema Just in Time

Os estudos de simulação de sistemas JIT, segundo YAVUZ & SATIR (1995), podem ser classificados como análises explorativas de sistemas de puxar a produção (JIT com Kanban) ou como análises comparativas de sistemas de puxar e empurrar a produção. Os estudos comparativos lidam com a comparação de desempenho de dois sistemas diferentes trabalhando sob configurações idênticas de sistemas de produção. Já os estudos explorativos se concentram na aceitação do JIT com Kanban.

5.8.2.1 Estudo de um sistema de cartão único com caráter explorativo

No estudo feito por CHATUVERDI & GOLHAR (1992), os autores propõem um modelo de simulação para um sistema Kanban de produção com 9 estações sequenciais e 8 estoques intermediários. Neste estudo os objetivos são a análise dos efeitos da variabilidade da demanda e do tempo de processamento no desempenho do sistema bem como a determinação do número mínimo de Kanbans necessários em cada estação para uma demanda estocástica.

O modelo de simulação foi desenvolvido utilizando-se o GPSS/H. Conforme dito anteriormente, há 9 estações que estão fisicamente em fila com 8 estoques intermediários e um espaço para armazenagem de produtos acabados. O dia de produção foi estabelecido em 480 minutos e a demanda ocorre no início de cada dia; a linha de manufatura é dedicada à apenas um produto e o tempo de processamento em cada estação de trabalho é independente. O fornecimento de matérias-primas é ilimitado e está disponível o tempo inteiro para a primeira estação de trabalho. O mesmo número de Kanbans é utilizado em todas as estações e o inventário inicial em cada uma delas é igual ao número de Kanbans permitido. Cada contenedor possui uma unidade e nenhuma quebra de máquina é considerada na linha de produção.

A demanda ocorre no início de cada dia na estação de produtos acabados; caso não haja produtos disponíveis, o pedido é colocado numa fila. O inventário também pode ser comparado com a necessidade da demanda e resultar em duas situações: a primeira - se a demanda for maior que o inventário, as unidades disponíveis são fornecidas e o restante do pedido junta-se à fila. Um

sinal é enviado à estação de trabalho de produtos acabados para manufaturar as unidades que faltam para completar o pedido; a segunda – se o inventário de unidades de produtos acabados é maior ou igual a demanda, esta última é satisfeita e um sinal é enviado para a estação de produtos acabados para produzir as unidades fornecidas à demanda.

Um sinal do Kanban que chega na estação de produtos acabados indica o número de unidades a serem manufaturadas e o inventário do estoque da estação anterior é verificado. Se as unidades disponíveis de produtos semi-acabados forem iguais ao número de unidades requeridas pela estação de produtos acabados, esta são mandadas e um sinal é enviado à estação precedente para produzir estas unidades que foram usadas. A última estação (de produtos acabados) inicia o processamento de um produto semi-acabado enquanto as outras unidades semi-acabadas esperam na fila. Assim que o processamento de um produto semi-acabado estiver terminado, este produto deixa a fila e vai para a estação de produtos acabados. Quando um novo produto acabado é enviado ao estoque de produtos acabados, o próximo pedido é comparado com o inventário de produtos acabados. A mesma lógica aplica-se às estações precedentes.

O modelo simulado foi rodado sob um dado número de Kanbans com demandas diferentes e distribuições de tempos de processamentos diferentes. A demanda média é de 35 unidades por dia e o tempo médio de processamento é de 10 minutos por unidade.

O experimento considera 3 fatores: demanda, tempo de processamento e número de Kanbans. Os níveis de demanda são: constante, normal com média variância de 0,1 ou normal com média variância 0,2. Os níveis dos tempos de processamento são: constante, normal com média variância de 0,1, uniforme com média variância de 0,2 ou exponencial, sendo que o número de Kanbans varia de 1 a 6. Portanto, tem-se um total de 108 condições diferentes de simulação examinadas. As medidas de desempenho consideradas foram:

- Taxa de utilização média da última estação de trabalho (por 50 dias de produção).
- Taxa média de fluxo de materiais (unidades produzidas em 50 dias)
- Inventário médio de WIP (unidades sendo processadas e esperando para serem processadas em 50 dias de produção)

- Tempo médio para completar o pedido (tempo gasto para completar a demanda diária)

Utilização da estação

Variando-se a demanda e as distribuições dos tempos de processamento, CHATUVERDI & GOLHAR (1992) afirmam que a utilização da estação permanece constante em 73% para um dado número de Kanbans. Esta falta de sensibilidade ao número de Kanbans, à demanda e às distribuições de tempos de processamento pode ser atribuída à baixa rodada da demanda de 73% considerada no experimento. Por causa de uma maior capacidade de produção, o sistema é capaz de lidar com a variabilidade na demanda e no tempo de processamento. Isto mostra que para um sistema de produção sub utilizado com uma distribuição de processamento de tempo que não seja exponencial, um Kanban deve ser alocado em cada estação de trabalho para obter uma máxima utilização da estação.

Para uma distribuição exponencial no tempo de processamento, a utilização média da estação cresce assintoticamente com o número de Kanbans. Ao passo que para uma tempo de processamento exponencial, 4 Kanbans são suficientes para obter uma utilização máxima da estação independente da distribuição da demanda.

A variabilidade da utilização da estação permaneceu baixa para distribuições diferentes da demanda e dos tempos de processamento e não mudou significativamente com o número de Kanbans.

Fluxo de materiais

O comportamento é idêntico ao observado na utilização das estações: o fluxo de materiais é constante para todas as distribuições de tempo de processamento exceto para a exponencial. Para a distribuição exponencial no tempo de processamento, o fluxo de materiais aumentou assintoticamente com o número de Kanbans. Há uma melhora no fluxo de materiais com o aumento do número de Kanbans. Para a demanda normal com média variância 2 e tempo de

processamento exponencial, foi observada uma variabilidade máxima no fluxo de materiais. Exceto para o tempo de processamento exponencial, a demanda constante não causou variabilidade no fluxo de materiais.

Inventário Total de WIP

Observou-se que o WIP aumentou com um número maior de Kanbans em cada estação. Quando comparado com outras distribuições dos tempos de processamento, a distribuição exponencial resultou num inventário menor de WIP quando o número de Kanbans em cada estação de trabalho era maior do que 3.

Tempo para completar o pedido (TCP)

Foi observado que, para o mesmo número de Kanbans, o tempo médio para completar o pedido aumentou por causa da variabilidade da demanda e do tempo de processamento. O tempo médio para completar o pedido comporta-se assintoticamente assim que o número de Kanbans foi aumentado. Quando comparado com outras distribuições de tempos de processamento, um valor maior do tempo médio para completar o pedido foi obtido com um tempo de processamento exponencial, entretanto comportou-se assintoticamente quando o número de Kanbans foi aumentado.

A variabilidade do TCP aumentou com a variabilidade da demanda e distribuições do tempo de processamento. Para uma demanda normalmente distribuída com média variância 0,2 e tempo de processamento distribuído exponencialmente, o TCP teve uma diferença maior. Entretanto, o TCP diminuiu consideravelmente com o aumento do número de Kanbans.

A conclusão de CHATUVERDI & GOLHAR (1992) é de que as distribuições da demanda e do tempo de processamento afetam as 4 medidas de desempenho e suas variabilidades. Excluindo o tempo de processamento exponencial, o número ideal de Kanbans por estação deve ser dois.

5.8.2.2 Estudo de um sistema de cartão único com caráter comparativo

Neste estudo, LEE (1988) examina a atuação dos sistemas de puxar e empurrar a produção de acordo com as seguintes medidas de desempenho: inventário de WIP, utilização do processo, quantidade total e *lead time* das peças, sendo que a quantidade total de processos é 8.

No procedimento de empurrar a produção, o material permanece numa fila para receber o primeiro processo levando em consideração que a prioridade de processamento segue uma determinada programação. Quando o primeiro processo termina, a peça segue para o processo seguinte e esta passa por todos os processos até a saída do sistema.

No procedimento de puxar a produção, as atividades nas estações de processamento são acionadas pelo contenedor vazio de Kanban nas respectivas estações. Cada contenedor vazio constitui uma unidade na fila na estação. Antes da peça ser processada, uma verificação é feita para assegurar que a estação posterior realmente precisa desta unidade. Os tempos de *set up* seguem distribuições exponenciais negativas de 8 minutos e os tempos de processamento seguem distribuições exponenciais negativas de 72 minutos. O tempo de corrida de simulação foi de 180 dias para ambos os sistemas chegarem ao estado constante.

No sistema de empurrar a produção, há uma regra hierárquica combinando “menor tempo de processo” (MTP) com o tempo de folga que representam o desempenho total do sistema. A mesma regra não se aplica ao sistema de puxar a produção uma vez que o tempo de folga não é relevante. Por isso, uma regra “menor tempo de processo” (MTP) com o tempo de atraso é utilizada no sistema de puxar a produção para efeitos de comparação. A regra *First Come First Served* (FCFS) é utilizada em ambos os sistemas.

As medidas de desempenho anteriormente citadas para avaliar os dois sistemas são:

1. Inventário de WIP

- a) sistema empurrar a produção: indica o inventário cumulativo das peças na fila em todas as estações de processo
- b) sistema puxar a produção: indica o inventário cumulativo dos contenedores dos Kanbans de todas as estações de processo.

2. Utilização do processo

Indica a média da porcentagem de utilização de todas as estações de processo.

3. Quantidade Total de Inventário

Indica a soma dos inventários de produtos semi-acabados e acabados após as datas de entrega prometidas.

4. *Lead time* das peças

- a) sistema empurrar a produção: indica o intervalo entre as peças entrando no sistema e o término do último processo.
- b) sistema puxar a produção: indica o intervalo entre o “puxar” de uma peça e o tempo que este movimento de “puxar” é terminado.

Resultados e Discussões

Observou-se que o sistema de puxar a produção apresenta uma jornada de trabalho mais produtiva. Para o sistema de puxar a produção, o “menor tempo de processo”/ATRASSO produz resultados melhores que o *First Come First Served*. No caso do sistema de empurrar a produção, o “menor tempo de processo”/FOLGA apresenta-se menos improdutiva que a regra *First Come*

First Served. Isto se explica pelo fato de que quando o sistema produtivo está sobrecarregado, o WIP aumenta progressivamente para o sistema de empurrar a produção e as peças a serem processadas também aumentam. Nos estágios precedentes, o número de peças a serem processadas é relativamente baixo e o “menor tempo de processo” é predominante.

Em relação à utilização do processo, os resultados mostram que o sistema de puxar e empurrar a produção estão bem próximos enquanto a alta taxa de término do trabalho para “menor tempo de processo”/ATRASSO é acompanhada por um alto nível de utilização do processo, sendo que o oposto ocorre para a regra *First Come First Served*. Isso implica que, embora o método de empurrar a produção tenha uma propensão maior para assegurar uma alta utilização do processo por causa de um inventário maior de WIP, o método de puxar a produção se apresenta mais eficaz para terminar as peças num tempo menor.

Na medida de desempenho *lead time*, observou-se que no “menor tempo de processo”/ATRASSO do sistema de puxar a produção, 90% das peças têm um *lead time* de 10 dias ou menos enquanto no sistema de empurrar a produção o *lead time* é de 20 dias. É importante ressaltar também que no sistema de empurrar a produção há uma tendência de formação de gargalos em uma ou duas estações.

No inventário de WIP, observa-se que um inventário maior de WIP apresenta menos contenedores vazios. Quando “menor tempo de processo”/ATRASSO é comparado com o *First Come First Served*, observa-se um gap maior entre o inventário de WIP e o inventário para o “menor tempo de processo”/ATRASSO do que nas curvas do *First Come First Served*.

Comparando os níveis de inventário (total e WIP) para os sistemas de puxar e empurrar a produção, observa-se um fator relevante que é a quantidade de peças e neste estudo são considerados 30 tipos de peças. Como o sistema de puxar a produção tem um inventário “permanente” na forma de Kanban, este método fica em desvantagem assim que o mix de produtos torna-se maior. Por esta razão, a maior parte dos sistemas de puxar a produção lidam com uma pequena faixa de produtos e, preferencialmente, repetitivos.

Conclusões

Através deste estudo, os resultados mostram que o sistema de puxar a produção mantém o nível de inventário mais baixo. Outro aspecto importante da pesquisa foi o favorecimento da regra de programação *First Come First Served* no desempenho dos sistemas de puxar e empurrar a produção devido à sua simplicidade operacional. No sistema de puxar a produção, o baixo inventário de WIP na estação de processo cria uma probabilidade maior de “estorvo” do processo. Isto pode ser evitado gerando-se uma mobilidade maior de processamento da peça no sistema através de um processamento mais eficiente das filas.

Enquanto o sistema de puxar a produção mostra-se mais atrativo em relação ao sistema de empurrar a produção, é preciso levar em consideração que alguns requisitos importantes são necessários para garantir uma implementação de sucesso. Devido à necessidade de minimização dos tamanhos de lote, deve-se adotar um programa abrangente para revisar os procedimentos de *set up*; entre outros aspectos necessários para a viabilização do sistema de puxar a produção.

CAPÍTULO 6

DESENVOLVIMENTO DOS CENÁRIOS KANBAN E MRP UTILIZANDO O SOFTWARE ARENA

Neste capítulo serão apresentados os modelos Kanban e MRP do sistema de manufatura de canetas. No sistema Kanban, além da visualização dos painéis Kanban e do transporte de material pela fábrica, propõe-se um problema de produção insuficiente de canetas a ser resolvido com o auxílio da técnica de simulação. No sistema MRP, busca-se focar o aprendizado do Plano Mestre de Produção (PMP) bem como os conceitos ligados ao cálculo de necessidades de materiais.

Além do objetivo didático ainda há a proposta de análise de diversos resultados que podem ser obtidos através da manipulação de algumas variáveis contidas no modelo como o número de cartões no painel e tempo de *set up*.

6.1 Descrição dos sistemas de manufatura a serem simulados

Será utilizado um sistema de manufatura para ilustrar duas situações: a primeira demonstrando o funcionamento do sistema Kanban e a segunda demonstrando o funcionamento do sistema MRP. Para isso foi criada uma fábrica de canetas, que produz quatro tipos de produtos, sendo que nesta fábrica há sete estações de manufatura que produzem os componentes das canetas e três estações de montagem que produzem os produtos semi-acabados e acabados.

Os componentes da caneta são: êmbolo com variação nas cores preta ou branca, coroa, parte de trás, bico com variação nas cores verde ou branca, mola, carga e clip. Devido às variações de cores em dois componentes, tem-se os quatro tipos de canetas:

- Caneta 1 - êmbolo preto e bico branco
- Caneta 2 - êmbolo branco e bico verde
- Caneta 3 - êmbolo preto e bico verde
- Caneta 4 - êmbolo branco e bico branco

As sete estações de manufatura produzem, cada uma, um dos componentes. A união dos componentes êmbolo (preto ou branco), coroa e parte de trás formam o módulo A; a união dos componentes carga, mola e bico (verde ou branco) formam o módulo B. A união dos módulos A e B e o componente clip formam a caneta. As figuras 14 e 15 ilustram o produto e sua respectiva lista técnica, sendo que esta lista vale para os 4 tipos de canetas diferindo apenas nas cores dos itens êmbolo e bico.

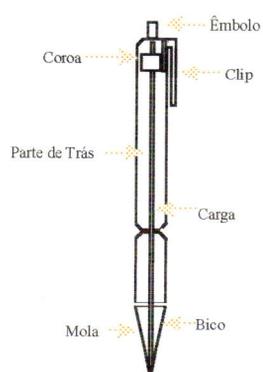


FIGURA 14 - Estrutura da caneta

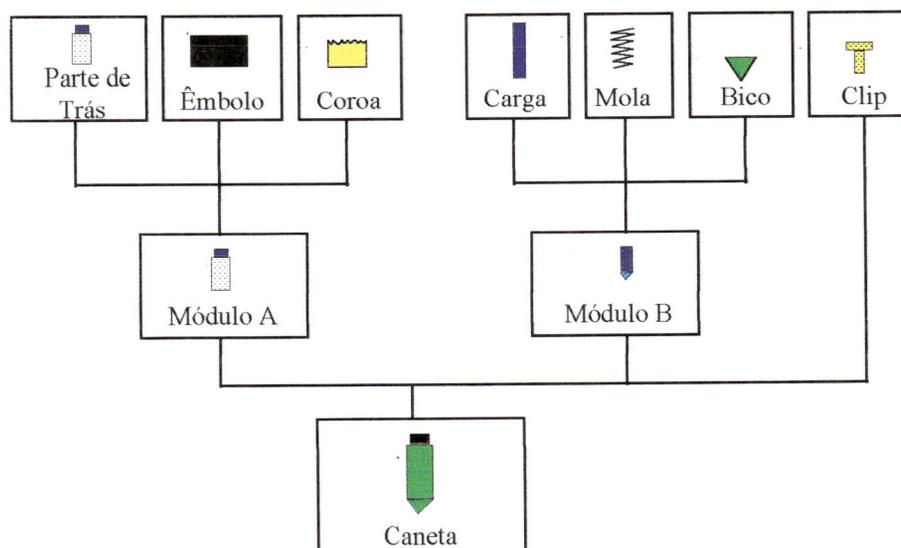


FIGURA 15 – Lista técnica da caneta

Conforme descrito no capítulo 5, o processo de construção de um modelo para simulação necessita de um roteiro expresso através de 10 etapas. Seguindo este roteiro, o desenvolvimento dos modelos será explicitado adiante.

Etapa 1 Definição do problema e objetivos do estudo

Embora o modelo proposto tenha sido elaborado a partir de uma situação hipotética, foi preciso definir um objetivo e um problema para o sistema de manufatura. O objetivo não poderia ser simplesmente a demonstração do sistema Kanban e do Plano Mestre de Produção, pois qualquer software de animação poderia suprir esta necessidade dispensando assim a utilização de um software de simulação. Além da vantagem de animação do software de simulação, um fator importante para a sua utilização é a possibilidade de tomada de decisões a partir dos relatórios gerados após a corrida de simulação. Através deste recurso, o aluno pode antecipar o impacto de suas decisões e visualizar de forma mais clara como os componentes do sistema de manufatura interagem entre si.

O problema proposto para a fábrica é o volume insuficiente de produção para atender a demanda em uma semana, que é de 5.000 canetas. A produção semanal da fábrica é de 4.000 unidades, portanto o objetivo é aumentar a produção para que a fábrica atenda a demanda.

Etapa 2 Elaboração de um esboço de modelo

Após a primeira etapa foram elaborados dois esboços dos modelos utilizando a técnica IDEF0, um para o sistema Kanban e outro para o sistema MRP. Nestes esboços estão contidas algumas informações como os processos necessários para fabricar a caneta, os recursos e as informações a respeito do pedido.

Uma modelagem de processo IDEF, de acordo com HUNT (1996) é uma representação de um conjunto de componentes de um sistema funcional ou de uma área de processo funcional. O modelo, em termos de IDEF, foi desenvolvido para facilitar o entendimento do processo, a análise e melhoria. Os processos são compostos por partes independentes que trabalham juntas para executar uma função útil do processo. As partes do processo podem ser combinações de elementos que incluem pessoas, informações, software, equipamento, produtos ou matérias-primas. A modelagem de processo pode ser usada para descrever o que o processo faz, o que o controla, o que é produzido, entre outros.

O IDEF é uma técnica de modelagem de processo baseada em combinações gráficas e textos que são apresentados de forma organizada e sistemática para obter entendimento, apoio à análise, fornecer lógica para mudanças em potencial e especificar necessidades.

Etapa 3 Aquisição dos Dados

Os dados utilizados no modelo são todos fictícios, procurou-se aproximar o melhor possível da realidade. Em visitas feitas a fábrica da Faber Castell, foram coletados alguns dados como tempo de *set up* e tempo de processamento.

Um fator importante que deve ser levado em consideração é a determinação de como estes dados variam, ou seja, qual o tipo de distribuição de probabilidade que mais se assemelha à distribuição apresentada pelos dados “coletados”.

Etapa 4 Validação dos dados

Para uma validação coerente dos dados, é necessário comparar os comportamentos dos sistemas real e proposto e analisar as discrepâncias entre eles. Este processo deve ser repetido até obter um modelo cuja acuracidade seja aceitável.

A construção de histogramas com os dados coletados e a comparação com os tipos de distribuições probabilísticas mais adequadas para descrever os tipos de dados considerados também é bastante útil.

Nos modelos propostos no presente trabalho não foi realizada uma validação acurada, buscou-se transpor a realidade da fábrica da Faber Castell da melhor forma possível.

Etapa 5 Construção de um modelo para realização do estudo de simulação

Nesta etapa os modelos foram feitos em BPWin, que é um software para modelagem de processo e com ele pode-se ter modelos de processo IDEF0 e DFD (os modelos encontram-se em anexo). Ele não permite uma descrição dos processo em um nível de detalhes além do que é possível obter com modelos IDEF0 e DFD. É definido como uma ferramenta analítica, que compara funções coerentes com funções propostas através de custo e tempo, por exemplo.

O pacote de software escolhido para realizar a simulação foi o ARENA versão 3.0. Este software foi utilizado porque já se encontrava disponível no laboratório REENGE da Escola de Engenharia de São Carlos – USP no Departamento de Engenharia de Produção. O ARENA é baseado na linguagem de simulação SIMAN e no sistema de animação CINEMA. SIMAN, já citado anteriormente, é uma linguagem de simulação para modelagem de sistemas discretos, contínuos ou combinados e baseado num sistema lógico de modelagem na qual o problema de

simulação é segmentado num componente “modelo” e num componente “experimento”. O “modelo” descreve os elementos físicos do sistema (máquinas, operadores, estoques, transportadores, informação, fluxo de produtos, entre outros) e suas interrelações lógicas. O “experimento” especifica as condições sob as quais o modelo deve rodar, incluindo elementos como condições iniciais, disponibilidade de recurso, dados estatísticos, tempo de simulação, entre outros. Como as condições experimentais são especificadas externamente à descrição do modelo, elas são facilmente modificadas sem alterar a definição básica do modelo.

Uma vez que o modelo e o experimento foram definidos, eles são ligados e executados pelo SIMAN para gerar a resposta simulada. Assim que a simulação é executada, o SIMAN automaticamente salva as respostas especificadas no experimento. Também podem ser gerados gráficos, tabelas e histogramas.

A animação CINEMA, de acordo com PEDGEN, SHANNON & SADOWSKI (1995), é uma exibição dinâmica de objetos gráficos que mudam de posição, cor ou forma num fundo estático. As mudanças correspondem às alterações no estado de um modelo SIMAN que está sendo executado. Os objetos gráficos podem representar tanto o estado de vários componentes físicos de um sistema como também fornecer o valor de uma variável do sistema ou medida estatística. Como a definição de uma representação gráfica do sistema é separada da sua representação lógica, um modelo SIMAN geralmente não precisa ser modificado para rodar com ou sem a animação.

O ARENA possui um conjunto de templates denominado AMT – Advanced Manufacturing Templates, onde foi gerado nosso sistema. Entende-se por template um ou mais painéis que compreendem todos os módulos necessários para a construção de um tipo específico de modelo. O painel é um conjunto de módulos destinados a modelar um tipo específico de sistema, os quais podem ser usados para construir partes de um modelo de simulação.

Etapa 6 Validação do modelo

A validação é feita através da comparação do modelo e seu respectivo comportamento com o sistema real. Esta comparação, segundo BANKS et al. (1986), é feita através de testes que fornecem subsídios para comparar o modelo com o sistema.

Os sistemas propostos neste trabalho foram idealizados, portanto a validação entre os modelos e seus respectivos sistemas ficam subjetivos. A validação, bem como o aperfeiçoamento das outras etapas, fica como sugestão para trabalhos futuros.

Etapa 7 Projetar o experimento

Convencionou-se uma semana de tempo de produção para realizar o estudo de simulação, pois este período de tempo foi considerado adequado. A corrida de simulação é de 2.400 unidades de tempo, que corresponde a 5 dias de produção com 8 horas diárias.

O ARENA não reconhece medidas de tempo como segundo, minuto, hora e assim por diante. O projetista é que deve estabelecer uma medida de tempo e os resultados serão gerados em função desta medida. O software não reconhecerá se é hora ou minuto mas sim o projetista. Para os modelos propostos, a unidade de tempo representa minutos e a quantidade de 2400 minutos significam 8 horas diárias em uma semana.

Etapa 8 Executar o experimento e analisar os resultados

Esta etapa será dividida em duas partes: uma tratando do modelo do sistema Kanban e outra do modelo do sistema MRP.

A) Sistema Kanban

A demanda, estabelecida previamente, é de produzir 5.000 canetas em uma semana. O sistema é de cartão único, portanto utiliza apenas o Kanban de transporte. É possível pedir os quatro tipos de caneta de forma mesclada, mas por facilidade de simulação, convencionou-se 25% de

probabilidade para cada um dos tipos de caneta. Após esta definição, o pedido segue para a expedição (estoque de produtos acabados) e, a partir daí, a linha de produção é acionada. Na linha produtiva há sete estações de manufatura, que produzem os componentes dos módulos A e B e o clip. Há também três estações de montagem que montam os módulos A e B e a caneta, como dito anteriormente. A figura 16 ilustra o modelo do sistema Kanban no ARENA e as tabelas 1 e 2 mostram as denominações das estações no modelo e no ARENA:

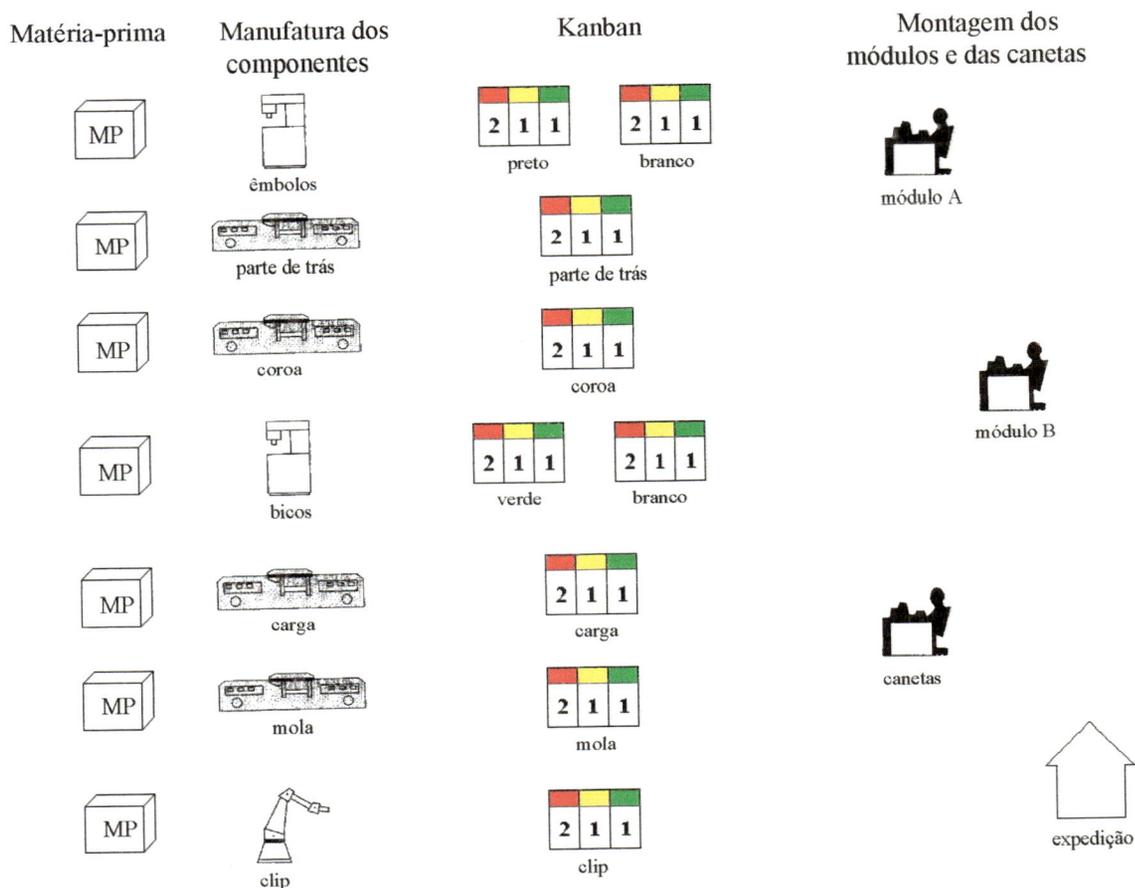


FIGURA 16 - Modelo do sistema Kanban no ARENA

TABELA 1: Estações de Manufatura

Denominação da estação no modelo	Denominação da estação no ARENA
Manufatura dos êmbolos	WCembolo
Manufatura da parte de trás	WCparte de trás
Manufatura da coroa	WCcoroa
Manufatura da carga	WCcarga
Manufatura dos bicos	WCbico
Manufatura da mola	WCmola
Manufatura do clip	WCclip

TABELA 2: Estações de Montagem

Denominação da estação no modelo	Denominação da estação no ARENA
Montagem do módulo A	Montagem módulo A
Montagem do módulo B	Montagem módulo B
Montagem das canetas	Montagem canetas

A estação “Montagem das canetas” inicia a produção de acordo com a demanda, quando esta precisa de mais componentes, as estações “Montagem módulo A”, “Montagem módulo B” e “WCclip” enviam seus produtos através de uma requisição da estação de montagem da caneta.

A “Montagem módulo A” faz requisições para as estações de manufatura do êmbolo, da parte de trás e da coroa; a “Montagem módulo B” faz requisições para as estações de manufatura da carga, do bico e da mola. As requisições são feitas através dos Kanbans, onde o operário vê a necessidade e a prioridade de produção.

As estações de manufatura recebem matéria-prima ilimitada, ou seja, produzem os componentes a partir das requisições, mas sempre terá material para isso. Considera-se o fornecimento de matéria-prima ilimitado e máquinas sem quebra.

Entre as estações de manufatura e de montagem, existe um estoque associado a cada estação. Quando a estação posterior precisa de unidades, ela retira do estoque associado àquela unidade na estação anterior e o controle é feito pelo Kanban, que tem três níveis e é ilustrado pela figura 17 :

Vermelho - capacidade máxima de uma unidade

Amarelo - capacidade máxima de uma unidade

Verde - capacidade máxima de uma unidade

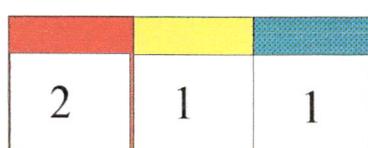


FIGURA17: Kanban

A cada cartão está associado um contenedor. Portanto há um contenedor com uma peça associado ao cartão verde, outro contenedor com uma peça associado ao amarelo e dois contenedores associados ao dois cartões vermelhos e cada contenedor com uma peça. Quando é retirada uma unidade do contenedor do cartão verde não há necessidade de reposição; quando é retirada uma unidade do contenedor do cartão amarelo sobrarão apenas duas unidades nos contenedores dos cartões vermelhos, aí a estação anterior produz mais 2 unidades para preencher os contenedores dos cartões amarelo e verde, mantendo unidades sempre disponíveis quando a estação posterior precisar. Pode-se visualizar o “*layout*” da fábrica através da figura18:



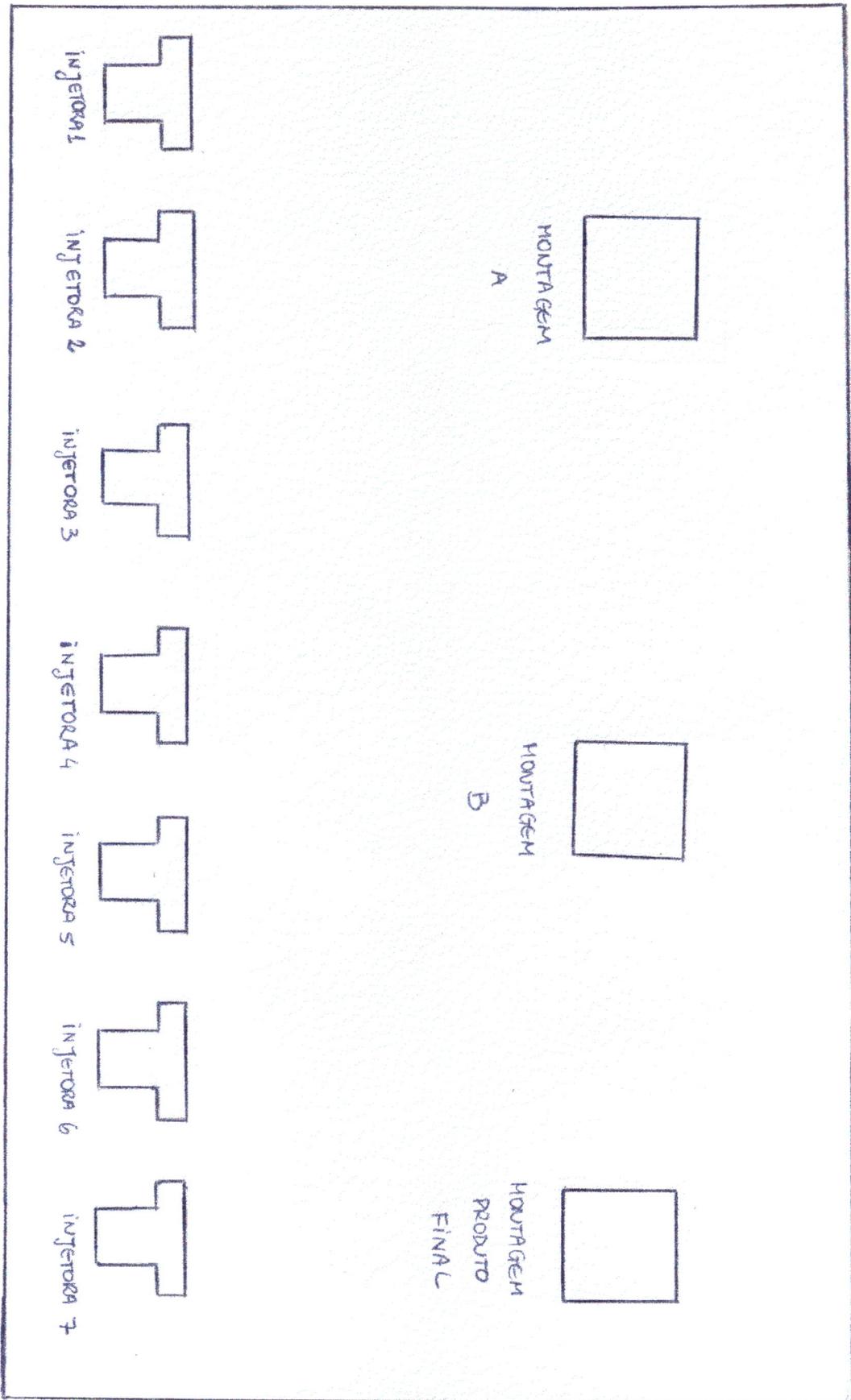


FIGURA 18: *Layout da Fábrica*

Os tempos de processamento das peças e de *set up* são mostrados na tabela 3:

TABELA 3: Tempos de processamento e de *set up*

PEÇAS	PROCESSAMENTO	SET UP
Êmbolo	3,2 minutos	EXPO (4)
Parte de Trás	3,2 minutos	Não Há
Coroa	3,2 minutos	Não Há
Bico	3,2 minutos	EXPO (4)
Carga	3,2 minutos	Não Há
Mola	3,2 minutos	Não Há
Clip	3,2 minutos	Não Há
Módulo A	3,2 minutos	Não Há
Módulo B	3,2 minutos	Não Há
Canetas	3,2 minutos	Não Há

Foram feitas 10 replicações e dentre elas a quantidade de produção foi a seguinte:

O tempo de chegada de material é de uma exponencial de 6 para uma replicação de 2400 minutos e lote de 10 unidades, o que significa que a cada 6 minutos um lote de 10 unidades é requisitado para a produção num intervalo de tempo de 2400 minutos (5 dias de produção com 8 horas diárias). Portanto a quantidade que deveria ser produzida é de 5.000 unidades e o resultado obtido, como ilustra a tabela 4 é de 496 unidades, número bem abaixo do esperado. O problema provavelmente reside no modelo ou na falta de validação dos dados e do próprio modelo.

O objetivo do trabalho não é fazer uma análise acurada, entretanto seria interessante realizar um estudo mais detalhado para obter uma confiabilidade maior nos resultados.

B) Sistema MRP

A proposta inicial era de ilustrar o sistema MRP, principalmente o funcionamento do Plano Mestre de Produção. O processo produtivo é idêntico ao do sistema Kanban, as diferenças residem nos conceitos do sistema MRP que utiliza ordens de fabricação, lote mínimo e a produção é empurrada. No cenário deste sistema produtivo, um funcionário do PCP pega um pedido e verifica na expedição se este já pode ser enviado ao cliente. Se estiver faltando unidades, o funcionário manda uma ordem de fabricação para todas as estações que produzirão as unidades requisitadas nesta ordem. O que ocorre neste modelo é a substituição do Kanban pelas ordens de fabricação, o estoque também fica maior devido ao lote mínimo. Os valores deste último para cada estação são:

TABELA 4: Estações de Montagem

Estações de Montagem	Lote Mínimo
Montagem das Canetas	6 unidades
Montagem do Módulo B	8 unidades
Montagem do Módulo A	6 unidades

TABELA 5: Estações de Manufatura

Estações de Manufatura	Lote Mínimo
Êmbolo	5 unidades
Parte de trás	5 unidades
Coroa	5 unidades
Bicos	5 unidades
Carga	5 unidades
Mola	5 unidades
Clip	5 unidades

O modelo do MRP não foi concluído pois houve dificuldade na introdução do Plano Mestre de Produção. A maior dificuldade foi introduzir a variável tempo, que no PMP significa o período. Por exemplo: é necessário começar a produção de um lote de canetas no dia 10 de novembro pois a entrega foi prometida para o dia 15 de novembro. Considerando-se que o *lead time* é de 4 dias, no dia 14 os produtos já devem estar prontos para serem entregues no dia 15. O período de produção, neste caso, é expresso em dias e a produção dos componentes iniciais (êmbolo, coroa, etc.) devem começar no dia 10 para serem montados no dia 13 de novembro. A introdução destes períodos é que não foi possível, o que invalida o Plano Mestre de Produção. É recomendável utilizar um software que ofereça a facilidade de introduzir os períodos de produção para simular sistemas do tipo MRP.

Etapa 9 Refinar o projeto do experimento

Neste trabalho, o refinamento do modelo não foi realizado embora seja necessário. Uma sugestão de refinamento seria obter algumas visões do modelo sob várias condições para validar a realidade. Outra sugestão seria manipular as variáveis do modelo e comparar os diversos resultados para viabilizar o refinamento.

Etapa 10 Análise final dos resultados e documentação do processo

O processo de documentação é muito importante e deve ser realizado em cada etapa do estudo em simulação. Após o cumprimento de todas as etapas, uma organização final das informações e dos dados gerados pelo estudo deve ser feito para fechar o processo de documentação. Nesta fase, é possível comparar o sistema real com o que foi obtido na simulação.

6.2 Viabilização e Implementação do Estudo dos Sistemas

Os modelos desenvolvidos neste trabalho foram utilizados na disciplina “Planejamento e Controle de Sistemas Integrados da Produção” ministrada pelo Prof. Dr. Carlos F. Bremer no segundo semestre de 1998.

Através destes modelos, foi possível a visualização dos painéis Kanban e uma sensibilização por parte dos alunos quanto aos resultados obtidos através da manipulação das variáveis do modelo.

6.3 Considerações a respeito do ARENA

O software possui uma interface amigável com o usuário, possui módulos prontos que contém caixas de diálogos onde são inseridas informações como tempo de processamento de materiais, nome da estação de trabalho, tempo de *set up*, entre outros.

O ARENA permite a construção de histogramas, gera gráficos e relatórios no fim da corrida de simulação. A detecção de erros é incompleta, pois o software acusa a existência de erros mas não indica a sua localização dificultando a correção. Embora o ARENA possua a linguagem SIMAN, o usuário não tem acesso à ela, portanto a flexibilidade fica limitada.

A animação é bidimensional e através dela foi possível representar máquinas, o processamento dos componentes e produtos, ociosidade da máquina e o funcionamento do Kanban, objetivo deste trabalho.

CAPÍTULO 7

DESENVOLVIMENTO DOS CENÁRIOS KANBAN E MRP UTILIZANDO A LINGUAGEM GPSS/H

Neste capítulo serão apresentados 2 modelos de um sistema de manufatura de canetas simulados na linguagem GPSS/H. Os modelos Kanban e MRP foram simplificados e não são comparados com os modelos simulados no ARENA. A escolha pelo simulador GPSS/H se concentra principalmente na flexibilidade da linguagem de simulação, permitindo que a introdução dos períodos no PMP fosse realizada.

7.1 Considerações a respeito do GPSS/H

O simulador GPSS (General Purpose Simulation System) foi desenvolvido por Geoffrey Gordon na IBM no início dos anos 60. Os conceitos básicos sobre os quais o GPSS está baseado demonstram que este simulador é flexível e poderoso o suficiente para se modelar uma ampla gama de sistemas complexos.

O GPSS/H é uma versão mais avançada do GPSS, uma vez que possui numerosas extensões de linguagem que removeram as limitações das primeiras implementações do GPSS e foi desenvolvido pela Cia. Wolverine Software Corporation. Foi liberado primeiramente em 1977 aos mainframes da IBM e depois em 1988 com uma versão para o MS-DOS.

7.2 A visão global do GPSS/H

O GPSS/H visualiza o sistema sendo modelado do ponto de vista de entidades movendo-se através do sistema, afirma BANKS et al (1989). Estas entidades dinâmicas chamadas *Transactions* movimentam-se por todo o sistema de Bloco a Bloco, onde um Bloco (*Block*) representa uma ação ou evento que afeta a própria *Transaction* assim como outras entidades. O conjunto de Blocos representando o sistema como um todo é chamado Diagrama de Blocos (*Block*

Diagram), sendo que cada Bloco em um Diagrama de Blocos corresponde a uma Declaração de Bloco (*Block Statement*) no arquivo fonte.

Uma *Transaction* pode representar, por exemplo, um material a ser processado por uma determinada máquina. Assim, o GPSS/H possui um Bloco (GENERATE) que pode representar a chegada de material na máquina. O tempo de processamento daquele material na máquina também pode ser representado no GPSS/H através do Bloco chamado ADVANCE e representar o fim do processamento ou saída do material do sistema a partir do uso do Bloco TERMINATE.

As *Transactions* são geralmente representações de entidades temporárias e portanto são finalizadas (no bloco TERMINATE) assim que elas saem do sistema. Entretanto, em alguns modelos, algumas *Transactions* podem permanecer no sistema durante toda a duração da simulação. É importante notar que muitas *Transactions* podem estar presentes simultaneamente em um Diagrama de Blocos. Dependendo do bloco, também uma ou mais *Transactions* podem estar em um bloco ao mesmo tempo. Quando *Transactions* formam fila devido a um recurso ocupado ou para mudanças nas condições do sistema, o GPSS/H automaticamente mantém uma disciplina de prioridades na fila segundo a sequência *first-in, first out*.

De acordo com BANKS et al. (1989), há 68 tipos de Blocos no GPSS/H, sendo que alguns destes Blocos são usados mais que outros e um pequeno grupo deles (cerca de 15 blocos) são poderosos o bastante para se modelar uma ampla variedade de sistemas.

Um modelo GPSS/H, segundo SCHRIBER (1991) pode ser expresso como um Diagrama de Bloco ou como uma declaração equivalente ao Diagrama de Blocos. O modelador de GPSS/H geralmente começa o processo de modelagem construindo-se um Diagrama de Blocos do modelo. Declarações correspondentes aos blocos em um Diagrama de Blocos (*Block Statements*) são então preparados e suplantados com as Declarações de Controle (*Control Statements*) e talvez com outros tipos de declarações de compilação como as conhecidas como *Compiler Directives*. Estas declarações adicionais fornecem um suporte de informações sobre o modelo e descrevem o plano para seu uso experimental. A coleção final de declarações, conhecida como Arquivo do Modelo (*Model File*), é então executada pelo GPSS/H sob o controle do computador.

Em suma, a visão global do GPSS/H é uma forma estilizada que o modelador observa o sistema sendo modelado. Na visão mais corriqueira do GPSS/H as *Transactions* entram em um Diagrama de Blocos e se movimentam através dele de Bloco a Bloco, competindo por recursos escassos. *Transactions* são atrasadas (normalmente implicitamente devido a condições de bloqueio) quando eles devem esperar até que um recurso torna-se livre. *Transactions* são também atrasadas (geralmente explicitamente através do Bloco ADVANCE) quando elas recebem um serviço do recurso. *Transactions* continuam a mover-se de Bloco a Bloco até que eles deixem o sistema ao passar por um Bloco TERMINATE ou a simulação para.

As funções principais de alguns dos mais poderosos e mais utilizados Blocos do GPSS/H segundo BANKS et al. (1989) serão relatadas, dentre eles: GENERATE, TERMINATE, ADVANCE, SEIZE, RELEASE, ENTER, LEAVE, TEST, TRANSFER, QUEUE, DEPART. Também se discutirá certas declarações de controle (*Control Statement*) como o STORAGE, SIMULATE, START e END, alguns Atributos Numéricos Padrões (SNAs), números randômicos e algumas funções do GPSS/H.

7.2.1 Os Blocos GENERATE e TERMINATE

O Bloco GENERATE, como o nome sugere, cria e introduz *Transactions* em um Diagrama de Blocos. Este Bloco modela a chegada de uma *Transaction* no sistema. O Bloco TERMINATE, por sua vez, modela a saída de *Transactions* do sistema destruindo as *Transactions* e todos os seus atributos. O Bloco GENERATE tem oito operadores, dos quais quatro são mais usados e serão apresentados a seguir.

O operador A especifica o tempo médio entre chegadas para as *Transactions* a serem criadas. Seu valor *default* (caso ele não seja especificado) é zero. Para distribuições não-uniformes a especificação é feita de forma diferente e não será tratada aqui.

O operador B (nos casos em que estes especificarem valores numéricos em distribuições uniformes) especifica a extensão superior e inferior do tempo médio entre chegadas. Seu valor

default também é zero. Assim o limite superior é dado por $A+B$ e o limite inferior é $A-B$ para a distribuição uniforme. Todos os valores reais entre estes limites são igualmente prováveis para serem escolhidos. O número selecionado especifica o intervalo de tempo em que uma *Transaction* deixa o Bloco GENERATE e a próxima a chegar no Bloco GENERATE. Uma *Transaction*, no entanto, pode não sair imediatamente do Bloco GENERATE se o Bloco que segue imediatamente o Bloco GENERATE é do tipo que pode recusar a entrada de uma *Transaction* (como o Bloco SEIZE que será visto oportunamente). Sob estas circunstâncias, o real intervalo de tempo entre chegadas será algo maior que o especificado pelos operadores A e B.

O operador C especifica o tempo de chegada da primeira *Transaction* no Bloco GENERATE. Caso este operador seja omitido este tempo é dado pelos operadores A e B. O operador D limita o número de *Transaction* (em D *Transactions*) que serão criadas. Caso este operador seja omitido não há limite para a criação de *Transactions* no bloco GENERATE.

Ainda que as *Transactions* sejam criadas sequencialmente pelo Bloco GENERATE, nem todas são criadas de uma única vez. Até que uma *Transaction* esteja apta a deixar o Bloco GENERATE, nenhuma outra *Transaction* será programada para chegar ao Bloco GENERATE. Logo, o tempo para a próxima chegada de uma *Transaction* é dependente do tempo em que a *Transaction* realmente deixa o Bloco GENERATE.

O Bloco TERMINATE, por outro lado, destrói as *Transactions*, representando as unidades de tráfego deixando o sistema real. Ele tem um único operador (com valor *default* 0) que é usado para decrescer o valor do contador de término da simulação. O valor inicial deste contador é estabelecido pela Declaração de Controle START que também será oportunamente discutido. Quando o valor do contador de término da simulação alcança um valor de 0 ou menos, a simulação para.

7.2.2 O Bloco ADVANCE

O Bloco ADVANCE segura ou mantém uma *Transaction* por um tempo especificado. Este bloco é comumente usado para representar tempos de processamento ou transporte de uma

unidade de tráfego. O Bloco tem dois operadores, A e B. Em uma distribuição uniforme, o operador A especifica o tempo médio que uma *Transaction* será mantida neste bloco. O operador B, por sua vez, denota a extensão de variação, para cima e para baixo, em torno do valor médio. Assim como no caso do Bloco GENERATE, o valor gerado será um número randômico entre $A \pm B$, implicando que qualquer valor entre $A+B$ e $A-B$ tem igual probabilidade de ser selecionado. Novamente, os valores *defaults* para estes operadores é zero.

Mais que uma *Transaction* pode residir em um Bloco ADVANCE. Neste caso, tais *Transactions* podem tanto estar sendo mantidas pelo tempo de permanência especificado no Bloco ou estar sendo impedidas de entrar no próximo Bloco sequencial.

7.2.3 Os Blocos SEIZE e RELEASE

Os Blocos SEIZE e RELEASE modelam a captura e liberação de um recurso (com capacidade 1), respectivamente.

O Bloco SEIZE tem um único operador que especifica o nome ou o número do recurso. Tal operador deve ser sempre especificado pois não há um valor *default*. Antes que uma *Transaction* possa entrar em um Bloco SEIZE, o GPSS/H verifica se o recurso está livre. Caso este esteja ocupado, a *Transaction* esperará no Bloco que precede o Bloco SEIZE até que aquele recurso torna-se livre. Neste momento a *Transaction* fará outra tentativa e caso obtenha sucesso em capturar o recurso, e somente nesta condição de sucesso, será permitida à *Transaction* prosseguir com o Bloco SEIZE.

O Bloco RELEASE libera o recurso que estava capturado pela *Transaction*. Ele muda o *status* do recurso para ocioso permitindo que outra *Transaction* possa capturá-lo. Este Bloco também tem um único operador (não há valor *default*) que especifica o nome ou o número do recurso que será liberado.

A combinação de Blocos SEIZE-ADVANCE-RELEASE é muito usada para modelar um recurso. Primeiramente uma *Transaction* tenta capturar o recurso modelado. Uma vez capturado,

a *Transaction* é mantida por uma certa quantidade de tempo representando o tempo de processamento ou tempo de transporte dado pelo Bloco ADVANCE. Somente então o recurso é liberado pelo Bloco RELEASE.

7.2.4 Os Blocos QUEUE e DEPART

Os Blocos QUEUE e DEPART são usados em pares lógicos para registrar estatísticas de tempo de *Transactions* movendo-se através das partes de um modelo. Qualquer número de Blocos pode estar entre um Bloco QUEUE e seu correspondente Bloco DEPART. Para se coleccionar estatísticas a respeito do número de *Transactions* entre os pontos A e B, e/ou o tempo gasto no caminho do ponto A até o ponto B, deve-se posicionar o Bloco QUEUE no “ponto A” e o Bloco DEPART no “ponto B”.

O Bloco QUEUE possui dois operadores. O operador A especifica o nome da fila na qual a *Transaction* irá fazer parte. O segundo operador B especifica o número de unidades a ser adicionada à fila. O operador A não possui um valor *default*, mas o operador B sim, e seu valor é 1. O operador B é usado para se ponderar as estatísticas de tempo, para situações onde uma *Transaction* carrega um peso maior que outras.

O Bloco DEPART também possui dois operadores. O operador A do Bloco DEPART especifica o nome da fila da qual a *Transaction* sairá. O operador B especifica o número de unidades a ser subtraída da fila. O valor do operador A deve ser especificado. O valor *default* do operador B é 1.

Quando uma *Transaction* entra em um Bloco QUEUE, o GPSS/H fará com que esta faça parte da fila especificada pelo operador A do Bloco QUEUE e registrará o tempo na qual a *Transaction* entrou na fila. Quando uma *Transaction* entra em um Bloco DEPART, o GPSS/H a removerá da fila especificada pelo operador A do Bloco DEPART e computará o tempo que a *Transaction* gastou na fila, calculando a diferença entre o valor absoluto do relógio do simulador (*Absolute Clock*) e o tempo em que a *Transaction* entrou na fila.

Uma configuração comum envolvendo os Blocos QUEUE e DEPART é a combinação QUEUE-SEIZE-DEPART. Esta combinação é usada para coletar estatísticas de tempo de espera de uma *Transaction* antes de receber um determinado serviço de um recurso.

7.2.5 A declaração de controle STORAGE (STORAGE Control Statement)

Um *Storage* é usado para modelar um recurso que pode processar algumas entidades simultaneamente. É frequentemente usado para modelar um grupo de servidores trabalhando em paralelo. A capacidade de uma entidade *Storage* é especificada com o uso de um STORAGE Control Statement cujo formato é:

STORAGE S(nome ou número),capacidade/...

onde o nome ou número da entidade *Storage* deve ficar entre parênteses e uma barra (/) deve ser usada para separar definições de múltiplas entidades *Storage*. Por exemplo,

STORAGE S(CONJUNTO), 3/S(4),2

significa que a entidade *Storage* denominada CONJUNTO tem uma capacidade de 3 e a entidade *Storage* número 4 possui uma capacidade de 2.

7.2.6 Os Blocos ENTER e LEAVE

O Bloco ENTER modela a captura de uma ou mais unidades de uma *Storage* enquanto o Bloco LEAVE modela a liberação de uma ou mais unidades.

O Bloco ENTER tem dois operadores. O operador A especifica o nome ou o número da entidade *Storage*. O operador B especifica o número de unidades requisitadas por uma *Transaction*, possui um valor *default* de 1 e na maioria das aplicações não é utilizada.

O Bloco LEAVE libera uma ou mais unidades de uma STORAGE. Este Bloco tem dois operadores, A e B, o qual tem os mesmos significados dos operadores A e B do Bloco ENTER. Ao contrário do Bloco ENTER, no entanto, o Bloco LEAVE nunca recusa a entrada de uma *Transaction*.

7.2.7 Os Atributos Numéricos Padrões (*Standart Nemerical Attributes - SNAs*)

Os SNAs são atributos associados com cada membro de uma unidade de classe. Eles são mantidos pelo GPSS/H e podem ser referenciados dentro de um modelo de GPSS/H para implementar a lógica do sistema que está sendo modelado.

Os Recursos, *Storages*, filas e Blocos (além de outros aspectos de um modelo) possuem propriedades numéricas ou atributos. Estes atributos são apresentados na forma de relatórios no final da simulação e seu valores também podem ser obtidos dinamicamente durante o curso de execução do arquivo do modelo (*Model-File*). Exemplos de SNAs são:

- SNAs para Blocos:

W(bnome) ou **W(j)**: fornece o número de *Transaction* atualmente no Bloco com denominado “bnome” ou cujo número é j.

N(bnome) ou **N(j)**: fornece o número total de *Transaction* que entraram no Bloco denominado “bnome” ou cujo número é j.

- SNAs para recursos (*facilities*):

F(fnome) ou **F(j)**: F(j) é 0 se o recurso está livre e 1 se está ocupado.

FT(fnome) ou **FT(j)**: tempo médio por *Transaction* no recurso “fnome” ou de número j.

FR(fnome) ou **FR(j)**: fração de utilização do recurso “fnome” ou de número j.

- SNAs para filas (*queues*):

Q(qnome) ou **Q(j)**: conteúdo atual de uma Fila denominada “qnome” ou de número j.

QA(qnome) ou **QA(j)**: conteúdo médio de uma Fila denominada “qnome” ou de número j.

QC(qnome) ou **QC(j)**: número total de *Transactions* que entraram na Fila denominada “qnome” ou de número j.

QM(qnome) ou **QM(j)**: número máximo de *Transactions* na Fila denominada “qnome” ou de número j.

QT(qnome) ou **QT(j)**: tempo médio de uma *Transaction* na Fila denominada “qnome” ou de número j.

QX(qnome) ou **QX(j)**: tempo médio de uma *Transaction* para aquelas *Transactions* que experimentaram um tempo de permanência diferente de zero em uma Fila denominada “qnome” ou de número j.

QZ(qnome) ou **QZ(j)**: número de *Transactions* que experimentaram um tempo de permanência de zero em uma Fila denominada “qnome” ou de número j.

- SNAs para *Storages*:

R(snome) ou **R(j)**: capacidade restante de uma *storage* denominada “snome” ou de número j.

S(Snome) ou **S(j)**: número de unidades de uma *storage* denominada “snome” ou de número j.

SA(Snome) ou **SA(j)**: número médio de unidades de uma *storage* denominada “snome” ou de número j.

SC(Snome) ou **SC(j)**: número total de unidades de uma *storage* denominada “snome” ou de número j.

SE(Snome) ou **SE(j)**: se a *storage* denominada “snome” ou de número j estiver atualmente vazia o valor de SE(snome) ou SE(j) é 1, caso contrário é 0.

SF(Snome) ou **SF(j)**: se a *storage* denominada “snome” ou de número j estiver atualmente cheia o valor de SE(snome) ou SE(j) é 1, caso contrário é 0.

SM(Snome) ou **SM(j)**: número máximo de unidades de uma *storage* denominada “snome” ou de número j utilizada a qualquer momento.

SR(Snome) ou **SR(j)**: utilização de uma *storage* denominada “snome” ou de número j.

7.2.8 Os Blocos TRANSFER e TEST

O Bloco TRANSFER possui nove modos de operação. Ao menos dois destes são obsoletos (o GPSS/H fornece uma maneira mais fácil e natural de se fazer a mesma coisa), enquanto que os demais têm usos ocasionais. Destes últimos, dois são mais importantes: os modos TRANSFER

incondicional e probabilístico (ou randômico). O operador A determina o modo de operação e os operadores B e/ou C especificam os nomes (*labels*) dos Blocos para os quais uma *Transaction* pode ser transferida.

Em uma transferência incondicional, uma *Transaction* é sempre enviada para um Bloco não-sequencial especificado pelo Bloco TRANSFER. Em uma transferência probabilística, uma *Transaction* é enviada para um entre dois Blocos especificados pelo Bloco TRANSFER baseado em um número gerado randomicamente.

Um Bloco TRANSFER incondicional possui dois operadores. O operador A é sempre omitido, isto é, é deixado em branco. Isto indica ao GPSS/H que o Bloco TRANSFER é do tipo incondicional. O operador B especifica o nome do Bloco, através de um nome ou número, para o qual uma *Transaction* é enviada. O operador B não pode ser omitido.

Um Bloco TRANSFER probabilístico tem três operadores. O operador A deve ser um número entre 0 e 1 e deve começar com um ponto decimal (.). O ponto decimal diz ao GPSS/H que o Bloco TRANSFER será do tipo probabilístico. Quando uma *Transaction* no Bloco, o GPSS/H irá gerar um número inteiro entre 0 e 999, distribuído uniformemente. O operador A é multiplicado por 100 e truncado, resultando em um valor inteiro entre 0 e 999. Se o valor inteiro randômico é maior ou igual ao valor computado do operador A, a *Transaction* é enviada ao Bloco especificado pelo operador C. Os operadores B e C podem ser expressos como números ou nomes dos Blocos. O operador B pode ser deixado em branco, significando que seu valor *default* é o próximo Bloco sequencial seguinte ao Bloco TRANSFER. O operador C não pode ser omitido.

Um Bloco TEST envia uma *Transaction* a um Bloco não-sequencial baseado no resultado de um teste especificado no Bloco. O Bloco TEST tem três operadores e um código de operação auxiliar. O código de operação auxiliar segue o código de operação (ou a palavra TEST, neste caso), separado por um espaço em branco. Os operadores A e B podem ser números, expressões, SNAs e outras funções que não serão vistas aqui. O código de operação auxiliar especifica o método de comparação para os operadores A e B. Tal lista pode compreender:

Código auxiliar	Descrição
G	A é maior que B?
GE	A é maior ou igual a B?
L	A é menor que B?
LE	A é menor ou igual a B?
E	A é igual a B?
NE	A é não-igual a B?

O operador C especifica o nome ou número do Bloco para a qual uma Transaction é enviada se a comparação é falsa. Se a comparação é verdadeira a Transaction é enviada ao Bloco imediatamente seguinte ao Bloco TEST.

7.2.9 As Declarações de Controle (Controls Statements) SIMULATE, START e END

A Declaração de Controle SIMULATE indica que o modelo será executado após uma compilação bem sucedida. Se o SIMULATE não é declarado no modelo, o GPSS/H verificará se o modelo contém erros mas não executará o modelo. O SIMULATE geralmente é escrito no início do modelo quando uma corrida de simulação é desejada. Ele possui dois operadores opcionais que não serão apresentados aqui.

A Declaração de Controle START estabelece o valor do contador de término da simulação, prepara todos os Blocos GENERATE para criar suas respectivas primeiras *Transactions* (e portanto iniciando a execução do Diagrama de Blocos do GPSS/H) e finalmente, no término da simulação, imprime os relatórios de saída padrão. O START possui quatro operadores. O operador A estabelece um valor inicial do contador de término da simulação. Este valor deve ser maior que 0.

Durante a execução dos Blocos, o contador de término é diminuído a cada momento que uma *Transaction* entram em um Bloco TERMINATE. A taxa de decréscimo é o valor do operador A do Bloco TERMINATE como já dito anteriormente. Quando o contador de término alcança um

valor de 0 ou menos, a simulação para e o relatório é impresso. Os demais operadores não serão discutidos aqui.

A declaração END, por sua vez, indica o fim de um modelo GPSS/H. Ele não tem operadores e deveria estar na última linha do modelo GPSS/H.

7.2.10 As Ampervariáveis

Uma ampervariável é uma variável programa cujo nome com o símbolo (& - *ampersand*) para diferenciá-la de outras entidades do GPSS/H. Uma ampervariável pode assumir uma entre cinco tipos de formas: inteira, real, com caracteres de comprimento fixado, com caracteres de comprimento variável ou externa (esta não será tratada aqui). Todas as ampervariáveis devem ser declaradas como escalares ou como vetores unidimensionais, contendo de 1 a 8 caracteres alfanuméricos precedidos por um *ampersand* (&). O primeiro caractere deve ser alfabético.

7.2.10.1 Declaração de Ampervariáveis reais e inteiras

Os comandos INTEGER e REAL declaram uma Ampervariável como inteira e real respectivamente. Quando declaradas, estas variáveis assumem o valor de zero.

O formato do INTEGER é:

```
INTEGER  avar,...
```

onde avar é o nome da Ampervariável e as reticências (...) significando que mais que uma Ampervariável pode ser declarada numa mesma linha.

Por exemplo:

- INTEGER &A, &Z: as ampervariáveis &A e &Z são declaradas como escalares e inteiras.

- INTEGER &FAPESP(5): a ampervariável &FAPESP é declarada como um vetor unidimensional de tamanho 5 com cada elemento (por exemplo &FAPESP (2)) sendo um número inteiro.

Da mesma forma, o formato do REAL é:

```
REAL  avar,...
```

onde *avar* é o nome da Ampervariável e as reticências (...) significando que mais que uma Ampervariável pode ser declarada numa mesma linha.

Por exemplo:

- REAL &A, &Z: as ampervariáveis &A e &Z são declaradas como escalares e reais.
- REAL &FAPESP(5): a ampervariável &FAPESP é declarada como um vetor unidimensional de tamanho 5 com cada elemento sendo um número real.

As Ampervariáveis armazenam somente quantidades inteiras. Se um valor real é designado a uma Ampervariável inteira, seu valor é truncado e não arredondado. Ampervariáveis reais, por sua vez, podem assumir tanto um ponto flutuante quanto quantidades inteiras.

7.2.10.2 Declaração de uma Ampervariável para caracteres

As Ampervariáveis para caracteres são usadas para armazenar e manipular dados relativos a caracteres. Eles podem ser tanto de comprimento fixado quanto variável.

Uma Ampervariável para caracteres de comprimento fixado é declarado usando-se o comando CHAR. Seu comprimento N é fixado na sua declaração. Ele é inicializado com um *string* de N caracteres em branco. O formato do comando CHAR é:

CHAR*N *avar*,...

onde *avar* é o nome da Ampervariável e N é o número de caracteres que cada Ampervariável armazenará. Mais que uma Ampervariável pode ser declarada em uma linha, todas com o mesmo comprimento fixado N.

Uma Ampervariável para caracteres de comprimento variável é declarado usando-se o comando VCHAR. Ele tem um comprimento máximo como declarado no comando VCHAR e um comprimento atual mantido pelo GPSS/H.

7.2.10.3 A Declaração de Controle LET (*LET Control Statement*) e o Bloco BLET

O *Control Statement* LET e Bloco BLET são utilizados para designar valores às Ampervariáveis. O formato do LET é:

LET avar=xpress

onde avar é o nome da Ampervariável e xpress pode ser tanto uma expressão matemática, um valor numérico quanto um *string* de caracteres. Se um string de caracteres for designado, este deve estar entre apóstrofes (' ').

As Ampervariáveis inteiras também podem ser usadas para referenciar Atributos Numéricos Padrões (*Standart Numerical Attributes*). Por exemplo, na expressão

LET &S=Q(&A) + QA(&A)

Q(&A) é o conteúdo atual da fila cujo número está armazenado em &A e QA(&A) é o conteúdo médio desta mesma fila.

Caso os valores designados pela função LET devam ter algum efeito sobre a execução do Diagrama de Blocos, então o *Control Statement* LET deve vir antes dos Blocos GPSS/H que serão executados, isto é, antes do *START Control Statement*.

O Bloco BLET é o *Control Statement* LET na forma de Bloco. Ele permite que uma *Transaction* designe ou mude valores das Ampervariáveis no modelo. O formato do BLET é o mesmo do LET, exceto que a palavra BLET no lugar de LET.

7.2.11 Números pseudo-aleatórios

Em todo o processo de simulação os números aleatórios executam um papel muito importante. No caso específico do GPSS/H eles são usados para calcular tempos entre chegadas de *Transactions* (através do Bloco GENERATE), tempos de processamento de uma *Transaction* (em um Bloco ADVANCE), determinar a probabilidade de rota de uma *Transaction* (através do Bloco TRANSFER) e para testar uma condição probabilística (através do Bloco TEST).

Entretanto, assim como ocorre em qualquer simulador os números gerados pelo GPSS/H não são verdadeiramente randômicos e sim, pseudo-randômicos pois são gerados a partir de um algoritmo. Como consequência, a sequência de números pseudo-randômicos podem ser reproduzidos. Um gerador de números randômicos usa um algoritmo para gerar números randômicos uniformes entre 0 e 1. No caso do GPSS/H o algoritmo empregado é o gerador congruencial linear multiplicativo de Lehmer.

Para BANKS et al. (1989) um bom gerador de números randômicos deve possuir algumas propriedades. Os números pseudo-randômicos devem ser não-correlacionados, implicando que estes não tenham um padrão de previsibilidade. Por exemplo, um número pseudo-randômico não deve ser consistentemente próximo de um número anteriormente gerado. Se isto acontece, diz-se que os números são constantemente relacionados. Caso estes números pseudo-randômicos flutuam entre intervalos grandes e pequenos a correlação é dita negativa.

As amostras de uma distribuição estatística devem ser computadas a partir de uma distribuição uniforme (0,1), pois assim pode-se gerar uma variedade de outras distribuições estatísticas. Outra propriedade dos números pseudo-randômicos é que ele possui um conjunto de valores (*stream*) que se repete eventualmente. O número máximo de números pseudo-randômicos em uma sequência antes que ele começa a se repetir é referido como período do gerador. É desejável que o gerador tenha um período extremamente longo. No caso do gerador do GPSS/H o período é de 2.147.483.646, ou seja, quase 2 bilhões de valores podem ser gerados antes que a sequência se repita.

Por fim, desde que uma elevada quantidade de números randômicos é necessária em uma simulação, é altamente desejável que o gerador de números pseudo-randômicos seja eficiente e processe estes números rapidamente.

7.2.11.1 Uso de *streams* diferentes no GPSS/H

Com a finalidade de se executar diferentes corridas de simulação cada qual com *streams* diferentes, deve-se especificar pontos de início diferentes dentre os 2.147.483.646 números possíveis. Para tal o GPSS/H faz uso das declarações RMULT e BRMULT.

A declaração de controle RMULT especifica o ponto de início do *stream* de números pseudo-randômicos. Seu formato é:

RMULT pt1, pt2,...

onde pt1 é ponto de início do stream 1 de números pseudo-randômicos, pt2 é o ponto de início do stream 2 e assim por diante. Caso este ponto de início não é especificado, o valor *default* para este ponto de início é $(100.000 \times i)$, isto é, o valor *default* do stream 1 é 100.000ésimo elemento da sequência produzida pelo gerador de Lehmer, do stream 2 é 200.000ésimo elemento, e assim por diante.

Exemplo: RMULT 578,300000,

O RMULT acima indica que o ponto de início do *stream* 1 é o 578ésimo elemento da sequência de números randômicos do gerador de Lehmer. O ponto de início do *stream* 2 é o 300000ésimo elemento assim como o do *stream* 3, por default.

O Bloco de contrapartida do *Control Statement* é o Bloco BRMULT. A função deste Bloco é similar ao *Control Statement* RMULT, com os mesmos operadores do *Control Statement* RMULT.

7.2.11.2 Funções do GPSS/H para distribuições de variáveis randômicas

O GPSS/H possui funções internas que geram variáveis randômicas de distribuições exponenciais, normais e triangulares.

7.2.11.2.1 A Função RVEXPO

A Função RVEXPO retorna uma amostra de números de uma distribuição exponencial com o seguinte formato:

RVEXPO(rns,média)

onde rns especifica o *Stream* de números randômicos e média é a média da distribuição exponencial e, portanto, sempre positiva.

Exemplo:

RVEXPO(1,3.0)

Neste exemplo, a amostra de números aleatórios de uma distribuição exponencial de média 3.0 será gerada do Stream 1.

7.2.11.2.2 A Função RVNORM

A Função RVEXPO retorna uma amostra de números de uma distribuição normal com o seguinte formato:

RVNORM(rns,média,std)

onde rns especifica o *Stream* de números randômicos, média é a média da distribuição normal e std é o desvio padrão da distribuição normal.

Exemplo:

RVNORM(2,12.0,2.0)

Neste exemplo gera-se a partir do *stream* 2 de números randômicos amostras de distribuição normal com média 12.0 e desvio-padrão 2.0.

7.2.11.2.3 A Função RVTRI

A Função RVTRI retorna uma amostra de números de uma distribuição triangular com o seguinte formato:

RVTRI(rns,min,modo,max)

onde rms especifica o *stream* de números randômicos, min é o valor da distribuição triangular, $modo$ é o modo da distribuição e max é o valor máximo. Deve-se lembrar que o valor do modo deve ser maior ou igual que o valor mínimo e menor ou igual ao valor do modo.

Exemplo:

REVTRI(3,0.0,7.5,10.0)

Neste exemplo gera-se a partir do *stream* 3 de números randômicos amostras de uma distribuição triangular com valor mínimo de 0.0, modo de 7.5 e máximo de 10.0.

7.3 Desenvolvimento do Modelo Kanban

Conforme dito no capítulo 6, a produção era de 4 tipos de canetas e cada uma possuía 7 componentes. O sistema simulado no presente capítulo foi reduzido para facilitar a elaboração do modelo bem como para fins didáticos. A produção passou a ser de um único produto - caneta e os 7 componentes antes utilizados não são mais considerados, o modelo foi elaborado com base no produto como um todo. Os recursos produtivos da linha são compostos de 2 unidades: R1 e R2. A figura 19 ilustra a linha produtiva:

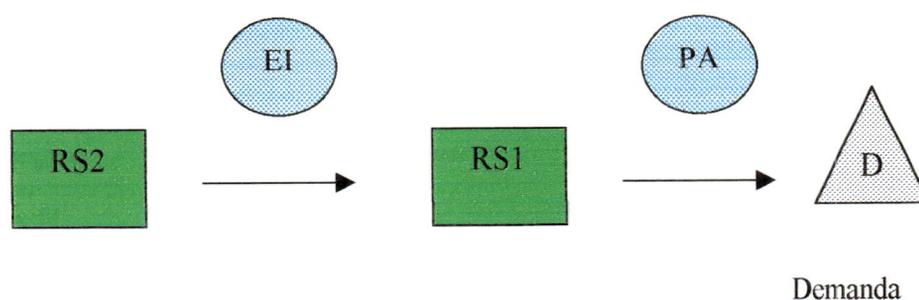


FIGURA 19: Linha Produtiva

As condições de produção são: fornecimento de matéria-prima ilimitada, dois recursos (R1 e R2) em seqüência e não é considerado *set up*. O sistema Kanban acompanha a demanda pedido

por pedido, sendo que o primeiro recurso a produzir para atender à demanda é o Recurso 1. Se a quantidade do pedido estiver disponível em PA (Produto Acabado), a remessa para o cliente é feita senão o Recurso 1 é acionado. Este Recurso 1 retira peças do EI (Estoque Intermediário) para produzir seus produtos e o Recurso 2 produz as peças que ficam armazenadas em EI. Isto representa o sistema de puxar a produção. No modelo proposto para simulação, PA inicia com 4 unidades e EI com 3 unidades.

A demanda é representada por um Processo de Poisson, ou seja, o tempo entre chegadas segue uma distribuição exponencial. O processo de chegada é um Processo de Poisson, pois segundo LAW & KELTON (1991) um processo estocástico é um processo de Poisson se os clientes chegam cada um a cada tempo e o número de chegadas num determinado intervalo de tempo é independente do número de chegadas num intervalo de tempo anterior, ou seja, a exponencial não tem memória. No modelo a demanda é representada pela exponencial de média 1, pois o comportamento é o mesmo do Processo de Poisson, os clientes chegam cada um a um determinado tempo dentro do intervalo de simulação.

O tempo de processamento de ambos os recursos é de uma exponencial com média 1. A distribuição exponencial é a única distribuição contínua que tem a propriedade especial de ser sem memória. Isto significa que se o tempo de processamento em uma máquina é exponencialmente distribuído então o conhecimento de quanto tempo uma peça está em processo oferece nenhuma informação sobre quando ela será terminada. Por exemplo: se o tempo de processamento de uma máquina é exponencial de média de uma hora e a tarefa atual tem estado em processo por 5 segundos, então o tempo esperado para o término da tarefa é uma hora. Se a tarefa atual já foi processada por uma hora, o tempo restante esperado para término é uma hora. Se a tarefa atual já foi processada por 942 horas, o tempo de espera ainda é de uma hora. É como se a máquina esquecesse seu trabalho anterior ao predizer o futuro, por isso o termo “sem memória”, afirma HOPP et al. (1996). Na distribuição exponencial a média é igual ao desvio padrão e portanto seu coeficiente de variação c é um (tais sistemas são ditos possuírem variabilidade moderada).

Ainda segundo HOPP et al. (1996), tal distribuição pode ser útil para representar tempos efetivos de processamento. Tempos efetivos de processamento correspondem aos tempos de processamento considerando todas as suas fontes de influência, por exemplo: variação no tempo de processamento “natural” da operação, paradas randômicas (quebras), set ups, disponibilidade do operador, retrabalho, entre outros. Se considerarmos que cada um destes fatores podem ainda ser quebrados (por exemplo: a probabilidade de quebra de máquina é a soma das probabilidades de quebra de todos os seus componentes), existem de fato inúmeras fontes causadoras de variabilidades nos tempos efetivos de processamento. Vistas de um ponto de vista global pode-se esperar que o comportamento dos tempos efetivos de processamento dos recursos se aproximem de uma distribuição exponencial uma vez que se a variação foi ocasionada por uma determinada fonte, esta não diz nada a respeito das demais possíveis causas de variação ou probabilidades de ocorrências, caracterizando um sistema “sem memória”. O mesmo raciocínio vale para modelos representando o comportamento do mercado, uma vez que se pode admitir que um cliente pode vir de diversas fontes, ou seja, a ocorrência de uma demanda não diz nada sobre a ocorrência das demais demandas.

7.4 Programação do Modelo Kanban no GPSS/H

O programa feito no GPSS/H para o modelo Kanban encontra-se no Anexo. Com referência à este programa, no primeiro GENERATE são geradas infinitas Transactions para encher os Recursos R1 e R2 e metade destas Transactions são enviadas para cada um dos Recursos. O segundo GENERATE gera a demanda que segue a distribuição exponencial de média 1, a qual retira uma unidade de PA (se PA for igual a zero no momento da chegada da demanda esta estará perdida para sempre). Toda vez que PA for menor que 4 e EI maior que 0, o recurso 1 R1 produzirá uma unidade, aumentando em uma unidade o estoque PA e reduzindo em uma unidade o estoque intermediário EI. Da mesma forma, sempre que EI for menor que 4 o segundo recurso R2 produz mais uma unidade, levando a um aumento de EI em também mais uma unidade. Ambos os recursos possuem seus tempos de processamento representados por uma distribuição exponencial de média 1 e os sistemas são comparados quando a linha tiver acabado de produzir a 80ª unidade.

7.5 Resultados da Simulação do Modelo Kanban

Cada corrida foi realizada com números randômicos gerados a partir de valores iniciais distintos, função esta realizada pelo RMULT. O tempo representa unidades de tempo de simulação, mas podem ser entendidos como horas. Os resultados obtidos da corrida do modelo Kanban, produzindo 80 peças, são mostrados na tabela 6:

TABELA 6: Resultados do Kanban

Número de Corridas	Tempo
1	93,723
2	99,395
3	95,236
4	85,768
5	92,604
6	93,301
7	87,638
8	86,561
9	85,639
10	97,735
11	93,424
12	93,791
13	105,017
14	93,871
15	92,235
16	96,877
17	99,170
18	99,377

19	108,501
20	103,323
21	91,316
22	90,155
23	93,800
24	88,421
25	91,678
26	99,934
27	88,749
28	110,643
29	92,871
30	97,165

7. 6 Desenvolvimento do Modelo MRP

O procedimento do processo produtivo no MRP é idêntico ao do Kanban, entretanto a partir de uma demanda conhecida, determina-se o início da produção. A demanda foi gerada através de um programa de números aleatórios no GPSS/H e os resultados são mostrados na tabela 10. Foi definido um horizonte de 15 dias de produção e o período (time bucket) é de um dia, ou seja, 8 horas de trabalho.

Na tabela 8 os números à direita do sinal de igual representam o tempo de chegada de um cliente, portanto no primeiro dia o número da demanda é de 8 unidades, pois são considerados os clientes que chegam entre 0 e 8. No segundo dia, considera-se os clientes que chegam entre 8 e 16, no terceiro entre 16 e 24 e assim por diante.

TABELA 7: Números Aleatórios

1=0,2410		26=32,1514		51=53,7818		76=81,4407
2=1,8098		27=32,7307		52=54,0385		77=81,6013
3=3,3804		28=32,7508		53=55,5137		78=82,4577
4=3,5230		29=33,0678		54=56,6791		79=84,4849
5=3,9976		30=33,5598		55=59,3956		80=84,7042
6=6,8868		31=35,6918		56=60,1719		81=85,4365
7=7,1119		32=36,8436		57=62,4259		82=85,9442
8=7,6126		33=37,1820		58=63,1091		83=86,7640
9=9,2839		34=37,2844		59=63,9393		84=91,1663
10=9,4506		35=38,5622		60=64,0656		85=92,0320
11=10,7345		36=38,7357		61=64,5159		86=92,6648
12=11,1296		37=40,1972		62=66,6786		87=95,0684
13=12,9357		38=41,0386		63=67,9478		88=96,6723
14=13,7758		39=41,2907		64=69,6254		89=100,1695
15=14,4210		40=41,4511		65=72,5517		90=101,0366
16=15,3707		41=41,9200		66=72,7080		91=104,5247
17=15,9761		42=42,3415		67=73,1311		92=104,6066
18=17,1186		43=42,6326		68=73,4726		93=105,2564
19=17,7608		44=43,5373		69=73,9616		94=105,9690
20=19,5526		45=44,6082		70=75,1048		95=107,0484
21=20,4728		46=45,0650		71=77,3471		96=107,7454
22=23,7336		47=47,8982		72=79,8967		97=108,7987
23=25,9566		48=50,4000		73=80,4348		98=110,2250
24=28,4190		49=50,4513		74=80,7072		99=112,5192
25=30,0574		50=52,4241		75=80,7834		100=117,2196

A demanda para o MRP é representado na linha PMP da tabela 8. Considerando o estoque inicial de 4 unidades para o Recurso 1 e 3 unidades para o Recurso 2 (condição inicial idêntica ao Kanban), é feito então o cálculo de quando e quanto produzir. A partir da demanda conhecida (obtida da tabela anterior), são determinadas as quantidades brutas e líquidas (considerando os estoques de segurança estabelecidos) a serem produzidas pelo Recurso 1. Descontando o *lead time* de produção do Recurso 1, obtém-se o plano de liberação de ordens para este recurso. Tal plano gera as necessidades brutas do Recurso 2, a partir da qual e da política de estoque de segurança estabelecida obtém-se as necessidades líquidas para o Recurso 2. Descontando o *lead time* planejado para estes recursos tem-se agora o plano de liberação de ordens para o Recurso 2. Como ambos os recursos produzem segundo um plano ou programa de produção diz-se que tal sistema empurra a produção, dentro de determinado período, respeitando assim as duas fases do MRP.

O planejamento dos dois Recursos é representado nas tabelas 8 e 9. A política de lote utilizada é a do Lot for Lot e o *lead time* do produto é de um dia (ou oito unidades) e o nível de estoque de segurança é de duas unidades para ambos os recursos. A política Lot for Lot é a mais simples das regras de dimensionamento de lotes. Segundo esta regra produz-se no período t simplesmente a quantidade líquida para o período t. Desde que este procedimento não deixa nenhum inventário no final de qualquer período (a não ser aqueles referentes ao estoque de segurança), este método minimiza a quantidade de inventário. Por outro lado, este método maximiza a quantidade de set ups ao procurar acompanhar estritamente a demanda, afirma HOPP et al. (1996). Como no modelo aqui desenvolvido produz-se apenas um único tipo de produto (portanto não há set ups), a escolha pela política Lot for Lot parece bastante razoável.

TABELA 8: Planejamento para o Recurso 1

Períodos	0	1	2	3	4	5	6	7	8
PMP			8	9	5	3	11	11	6
PRO			6	9	5	3	11	11	6
ES	2	2	2	2	2	2	2	2	2
PLO		6	9	5	3	11	11	6	6

Períodos	9	10	11	12	13	14	15	16
PMP	6	5	8	11	4	3	8	2
PRO	6	5	8	11	4	3	8	2
ES	2	2	2	2	2	2	2	2
PLO	5	8	11	4	3	8	2	

TABELA 9: Planejamento para o Recurso 2

Períodos	0	1	2	3	4	5	6	7	8
NB		6	9	5	3	11	11	6	6
PRO		5	9	5	3	11	11	6	6
ES	2	2	2	2	2	2	2	2	2
PLO	5	9	5	3	11	11	6	6	5

Períodos	9	10	11	12	13	14	15	16
NB	5	8	11	4	3	8	2	
PRO	5	8	11	4	3	8	2	
ES	2	2	2	2	2	2	2	2
PLO	8	11	4	3	8	2		

Legenda (válida para as tabelas 8 e 9):

PMP: Plano Mestre de Produção

PRO: Plano de Recebimento de Ordens

ES: Estoque de Segurança

PLO: Plano de Liberação de Ordens

NB: Necessidade Bruta

7.7 Programação do Modelo MRP no GPSS/H

Neste caso, cada GENERATE representa os planos de liberação das ordens de produção calculadas pelo MRP e expostas nas tabelas 10 e 11.

7.8 Resultados da Simulação do modelo MRP

Os resultados obtidos da corrida do modelo MRP são mostrados na tabela 10:

TABELA 10: Resultados do MRP

Número de Corridas	Tempo
1	99,239
2	104,977
3	104,986
4	105,337
5	97,935
6	98,208
7	96,387
8	95,816
9	103,847
10	112,44
11	112,524
12	117,941
13	119,804
14	119,998
15	111,834
16	112,167
17	105,332
18	101,404
19	97,871

20	99,103
21	98,726
22	99,668
23	96,608
24	101,703
25	100,008
26	100,255
27	103,557
28	107,778
29	107,94
30	106,169

7.9 Resultados e Análises

Procurou-se manter as condições de produção iguais para os dois sistemas, entretanto é preciso levar em consideração que o modelo proposto é bastante simples, apenas dois recursos em seqüência produzindo somente um produto que não possui variações (ex.: cor, tamanho). Por isso, as análises e conclusões valem somente para esta situação.

Infelizmente por falta de tempo, não foi possível efetuar uma análise com o propósito de conhecer qual o nível ótimo (em termos de maximização de output de produção) de Kanbans para o modelo Kanban. Da mesma forma, a análise para saber quais os parâmetros “ideais” como estoque de segurança, política de dimensionamento de lote e lead time para o modelo MRP não foi realizada pelo mesmo motivo do modelo Kanban. Isto faz com que os resultados analisados possivelmente estejam comprometidos por estas falhas.

Outro exemplo de falta de nivelamento entre os dois sistemas é que o MRP é um sistema desenvolvido para operar em situações de maior complexidade que o ambiente proposto, isto contribui para afetar a análise.

Dentro destas condições, a análise para saber qual sistema produz as 80 peças em menos tempo foi feita utilizando-se um intervalo de confiança de 90%. O número de replicações foi de 30 para ambos os sistemas.

O intervalo de confiança é dado por:

$$\frac{\bar{x} \pm t_{n-1, \alpha/2}}{\sqrt{n}} \quad \text{Fórm. (2)}$$

onde:

n = número da amostra

t = valor t da tabela de Student

\bar{x} = média da amostra

α = intervalo de confiança = 0,9

s_x = desvio padrão

O valor de t é retirado da tabela t de Student e o desvio padrão é dado por:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad \text{Fórm. (3)}$$

Calculando o intervalo de confiança para ambos os sistemas tem-se:

a) Para o sistema Kanban

O desvio padrão do Kanban é 6,29213

A média do tempo é de 94,95063

O intervalo de confiança é de 94,95063+ ou - 1,985144

b) Para o sistema MRP

O desvio padrão do MRP é de 7,002765.

A média do tempo é de 104,6505.

O intervalo de confiança é de $104,6506 \pm 2,209346$

Com base nestes resultados, para esta situação específica e com as condições inicialmente descritas, o resultados demonstram que o Kanban fabrica os produtos em menos tempo.

Um dos motivos da vantagem do Kanban sobre o MRP é que como não há set up, o Kanban acompanha a demanda pedido a pedido. Os pedidos que chegam de hora em hora não são agregados num período de um dia, como faz o MRP, e também não há prejuízo de perda de capacidade de produção.

Outro ponto a ser discutido é que se fosse realizada uma análise sobre qual sistema carregaria menos estoque em média, o Kanban provavelmente levaria outra vantagem. O MRP pode estar conseguindo um *output* elevado devido a um número alto de Estoque Intermediário.

Ainda que a política escolhida para dimensionamento de lotes no modelo MRP tenha sido Lot for Lot (a qual minimiza a quantidade de inventário no sistema por trabalhar com lotes pequenos), tais lotes de produção são maiores do que os que ocorrem no modelo Kanban uma vez que no Kanban se produz exatamente a quantidade exigida em cada ocorrência de demanda. Deve-se lembrar que os lotes no MRP são definidos segundo a quantidade de demanda agregada dentro de um “time bucket”. No entanto, como pode ser visto na tabela 8, cada bucket (período) contém mais que uma ocorrência de demanda. Como os lotes dentro do Kanban são menores que no MRP, é de se esperar que o fluxo de materiais seja mais suave no Kanban, fazendo com que seus recursos operem com menos ociosidade e aproveitando melhor suas capacidades produtivas. Deve-se ressaltar que tal vantagem fica mais evidente em ambientes que operam sem *set ups*.

De fato, se os modelos refletissem ambientes produtivos que operassem com mais de um produto, lotes pequenos poderiam provocar um número elevado de *set ups*, prejudicando o tempo

disponível produtivo dos recursos. Baseado no cálculo de intervalo de confiança, o Kanban também apresenta vantagem.

Esta análise e conclusão a respeito de qual sistema é produtivo aplica-se apenas a este caso especificamente. O aspecto importante desta pesquisa é conhecer o potencial da simulação e os benefícios gerados quando uma análise acurada é realizada.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÃO

A utilização da técnica de simulação apresentou-se bastante útil como ferramenta de ensino de sistemas de produção. O modelo Kanban simulado no software ARENA foi utilizado na disciplina “Planejamento e Controle de Sistemas Integrados da Produção” e permitiu aos alunos a visualização gráfica dos painéis Kanban uma vez que sua interface gráfica oferece recursos de animação como a movimentação dos materiais pela fábrica, o processamento dos produtos e o preenchimento/esvaziamento dos contenedores. Embora o modelo seja de um Kanban de cartão único, isto é, Kanban de transporte, os contenedores e seus respectivos cartões não se movimentam pela fábrica. Apesar disso, os alunos puderam visualizar o esvaziamento do contenedor quando a estação precedente requisitava material para ser processado. Além dos painéis Kanban, foi possível verificar a formação de filas de produtos a serem processados. Com este procedimento, seria possível identificar gargalos e realizar um balanceamento da produção.

Embora o modelo Kanban simulado no ARENA não esteja refinado, foi possível utilizá-lo como ferramenta didática. Este modelo apresentou-se bastante amigável aos alunos uma vez que não é necessário conhecer uma linguagem de simulação para utilizá-lo. As informações como tempo de *set up* e de processamento são inseridas diretamente nas caixas de diálogo dos blocos do ARENA, facilitando a interface usuário/programa. Outra vantagem oferecida pelo modelo Kanban foi a possibilidade de tomadas de decisões e a percepção dos impactos causados pela manipulação de algumas variáveis, como por exemplo, tempo de *set up*. Este tempo foi aumentado e diminuído com o intuito de observar as consequências no sistema. Através desta manipulação de variáveis, os alunos perceberam a potencialidade da simulação e as possibilidades de estudar o comportamento do sistema sem ter de alterá-lo na vida real.

É importante salientar que o estudo de um sistema, por melhor que seja, nunca é o sistema na realidade. O refinamento do modelo deve ser feito para assegurar a acuracidade dos resultados e garantir eventuais mudanças no sistema real. A simulação auxilia bastante a visualização de

cenários de um sistema, mas dificilmente o é na realidade. A simulação não otimiza, pode apenas demonstrar os resultados de perguntas como “E se?” e da mesma forma não fornece resultados precisos se os dados de entrada não forem precisos. A simulação não soluciona problemas mas sim fornece informações.

Uma das vantagens de utilizar um pacote de simulação como o ARENA é a facilidade de interação com o software sem ter que conhecer simulação. Entretanto, recomenda-se estudar as etapas do estudo de simulação propostas no capítulo 5 para se ter uma sensibilidade maior ao estudo.

O modelo MRP simulado no ARENA, como não foi concluído, fica como proposta para implementação futura. O objetivo deste modelo seria demonstrar o funcionamento do Plano Mestre de Produção (PMP) e apresentar os conceitos ligados ao cálculo de necessidades de materiais. A sua conclusão não foi possível devido à falta dos períodos de produção no MRP.

Já os modelos Kanban e MRP desenvolvidos no GPSS/H não oferecem a animação que o ARENA oferece, entretanto o GPSS/H possibilitou a introdução do PMP. A linguagem de programação é mais flexível do que o pacote de simulação, contudo não possui interface gráfica. Os modelos foram simplificados com o objetivo de facilitar o estudo de simulação, sendo recomendável iniciar o estudo de uma forma menos complexa e, gradativamente, enriquece-los. Além da visualização dos erros se apresentar de uma forma mais clara, os objetivos não se perdem e corre-se um risco menor do modelo estar errado.

Os modelos desenvolvidos no GPSS/H não foram implementados em sala de aula pois o objetivo era ilustrar o funcionamento do Kanban. Além da ausência da interface gráfica, o GPSS/H exige um conhecimento maior de simulação bem como da própria linguagem. Embora esta última não seja difícil, é preciso um estudo mais aprofundado para escrever um programa de simulação e isto demanda tempo. De qualquer forma, o GPSS/H mostrou-se bastante confiável e os resultados dos modelos Kanban e MRP apresentaram-se coerentes.

Seria interessante ter os modelos Kanban e MRP idênticos tanto no ARENA como no GPSS/H para efeitos de comparação de resultados bem como da funcionalidade de cada um dos simuladores. Entretanto verificou-se que os modelos simulados no ARENA levariam um tempo maior para serem confeccionados no GPSS/H.

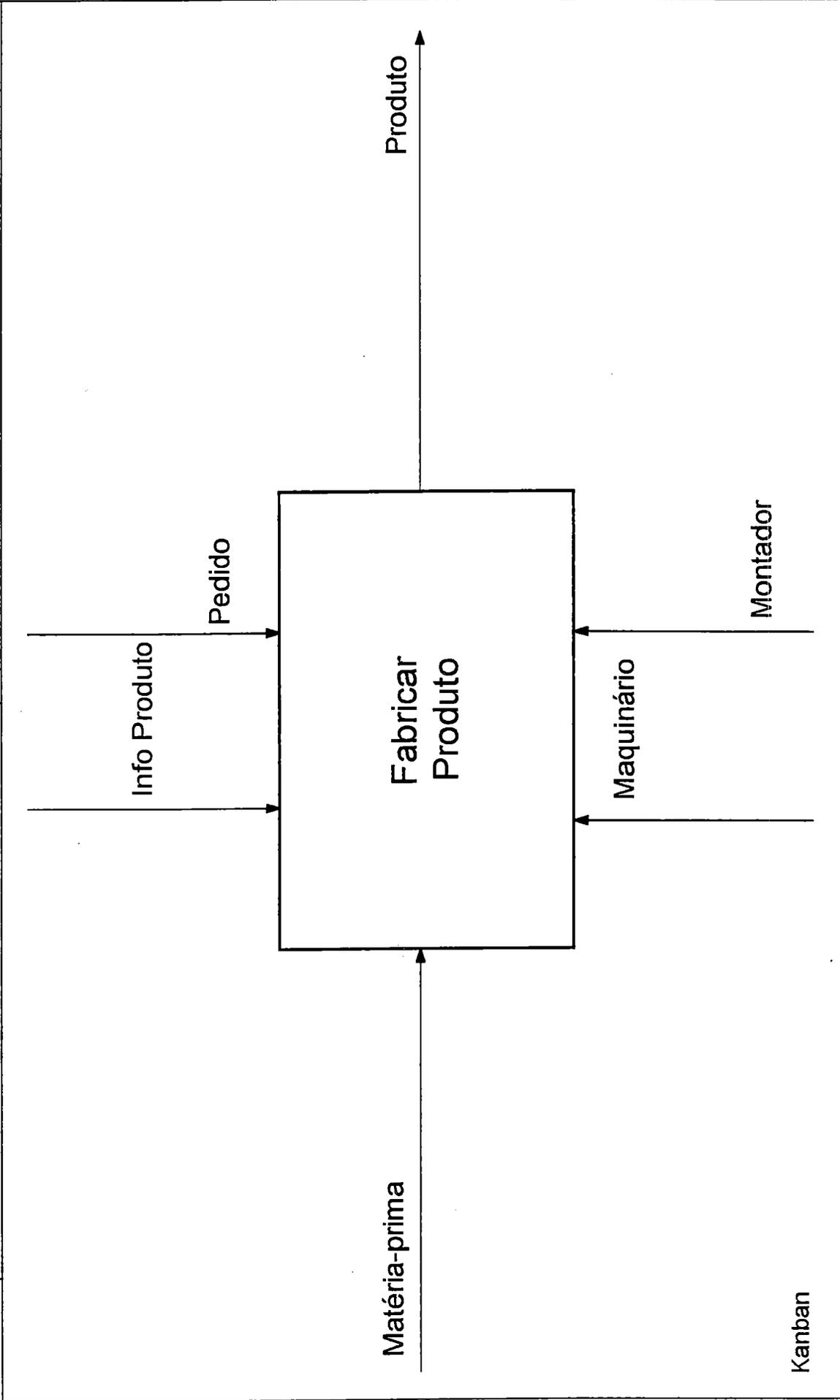
Um ponto importante a ser salientado é a escolha pelo software ou linguagem de simulação a ser usado no estudo. É importante ter um bom conhecimento dos pacotes oferecidos no mercado bem como a potencialidade de algumas linguagens de simulação para utilizar a ferramenta adequada. Em alguns casos um pacote poderoso e caro pode estar sendo adquirido para simular sistemas simples que facilmente seriam simulados de maneira confiável com um pacote mais barato.

As linguagens de simulação facilitam o desenvolvimento e execução da simulação dos sistemas mais complexos. O GPSS/H, por ser uma linguagem estruturada, proporciona uma flexibilidade maior que o pacote ARENA. A linguagem SIMAN, que é utilizada no ARENA, é uma linguagem de simulação que tem o objetivo de facilitar a construção de modelos. Entretanto, como o usuário não tem acesso à linguagem SIMAN no pacote ARENA, a flexibilidade fica prejudicada. Os templates Advanced Manufacturing Templates - AMT foram utilizados para elaborar os modelos Kanban e MRP; o uso destes templates facilitou a construção do modelo Kanban enquanto no MRP houve dificuldade para inserir os períodos do PMP, sendo possível apenas ilustrar o processo de empurrar a produção.

Embora problemas como o do MRP simulado no ARENA tenham sido detectados, a técnica de simulação mostrou-se bastante útil para ilustrar conceitos como o Kanban e proporcionar processos como o de tomada de decisão. Acredita-se, portanto, que esta ferramenta pode ser pedagogicamente útil bem como pode ser utilizada como parte de treinamento em vários níveis organizacionais em empresas que visam a implantação da técnica Kanban e também avaliar os sistemas de produção mais adequados a seus ambientes produtivos.

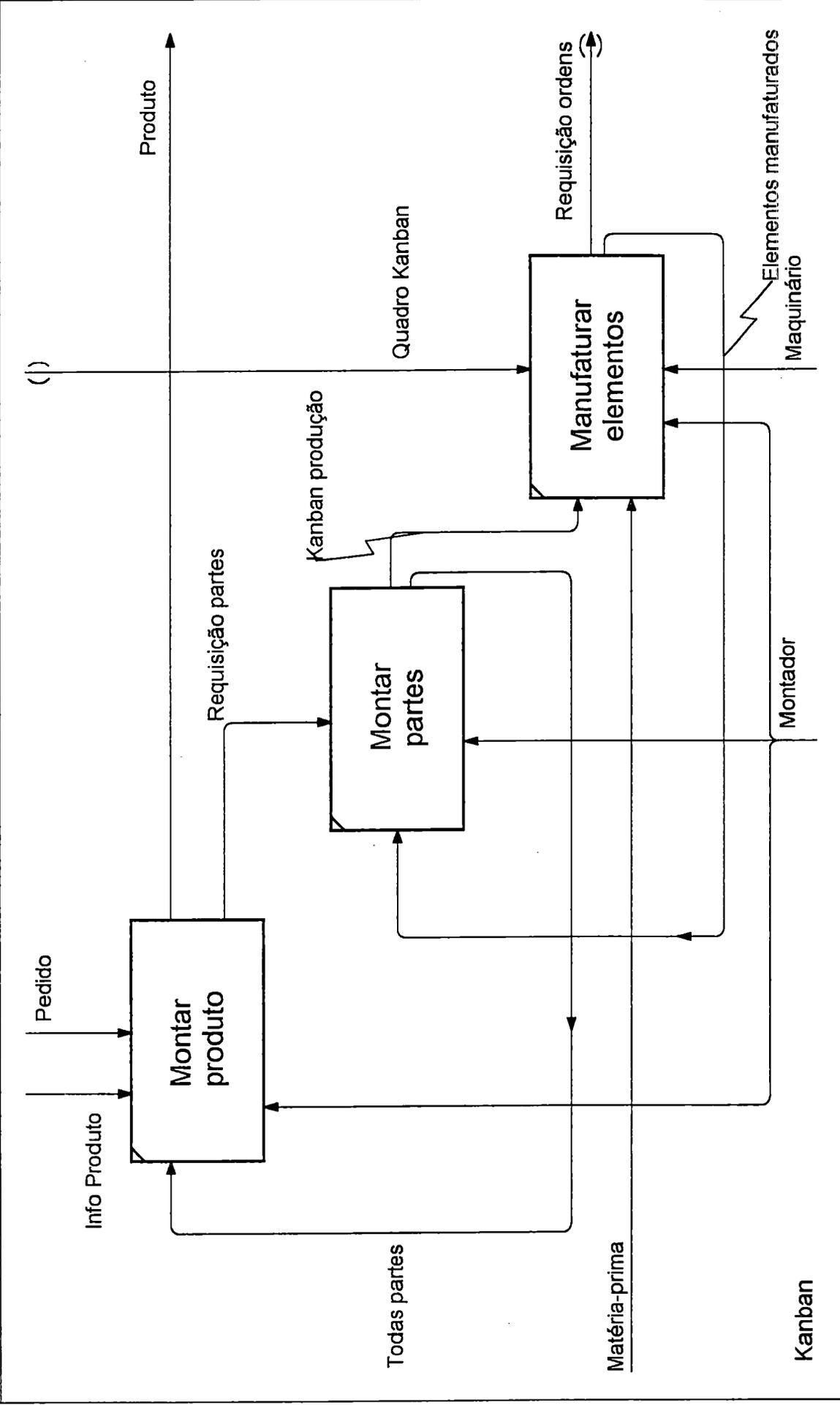
ANEXO

USED AT:	AUTHOR:	DATE: 12/03/98	WORKING	READER	CONTEXT:
	PROJECT: Model 1	REV: 31/03/98	DRAFT		TOP
	NOTES: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED		
			PUBLICATION		



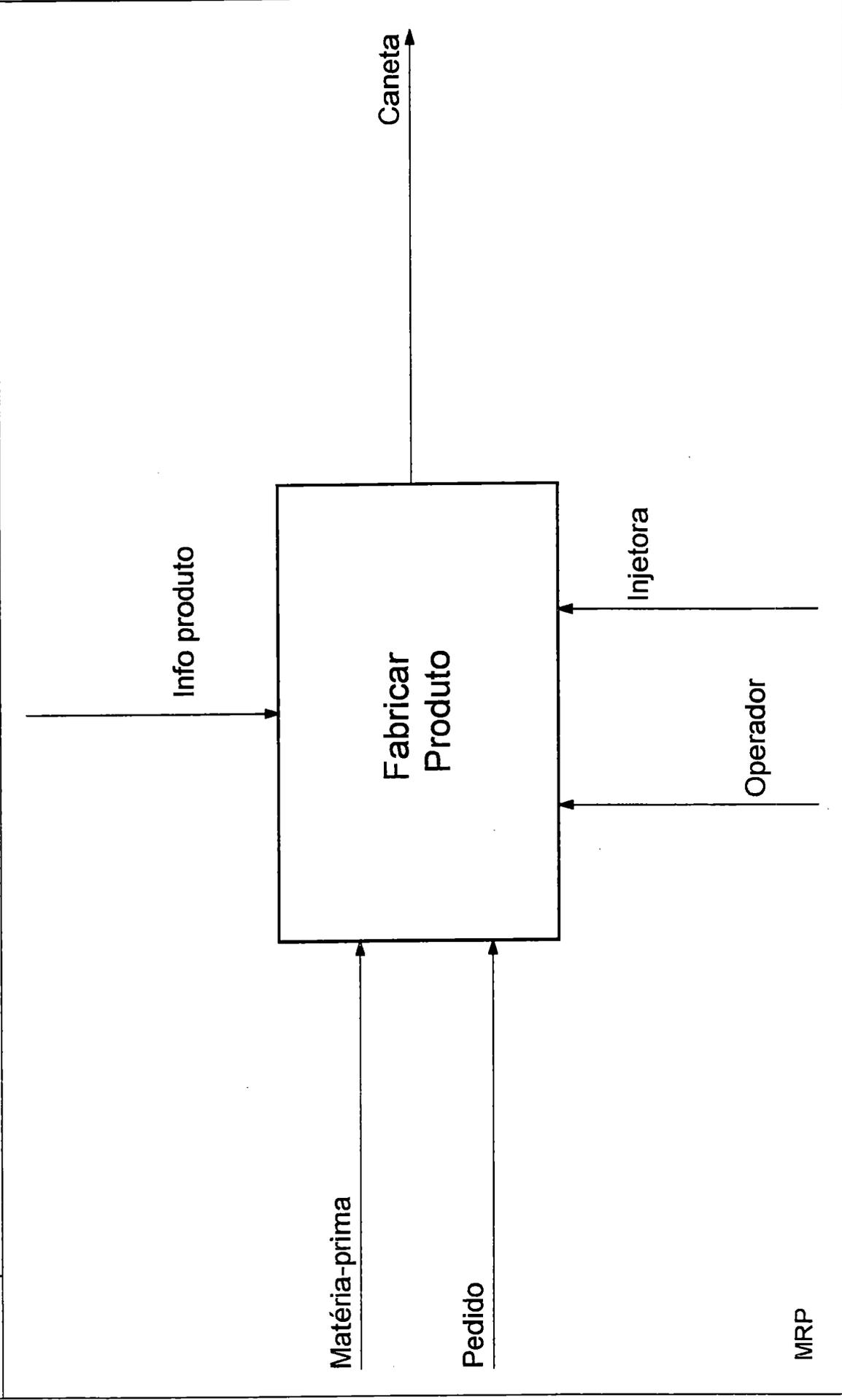
NODE: A-0	TITLE: Fabricar Produto	NUMBER:
-----------	-------------------------	---------

USED AT:	AUTHOR:	DATE: 12/03/98	WORKING	READER	DATE	CONTEXT:
	PROJECT: Model 1	REV: 31/03/98	DRAFT			
			RECOMMENDED			
	NOTES: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		PUBLICATION			A-0



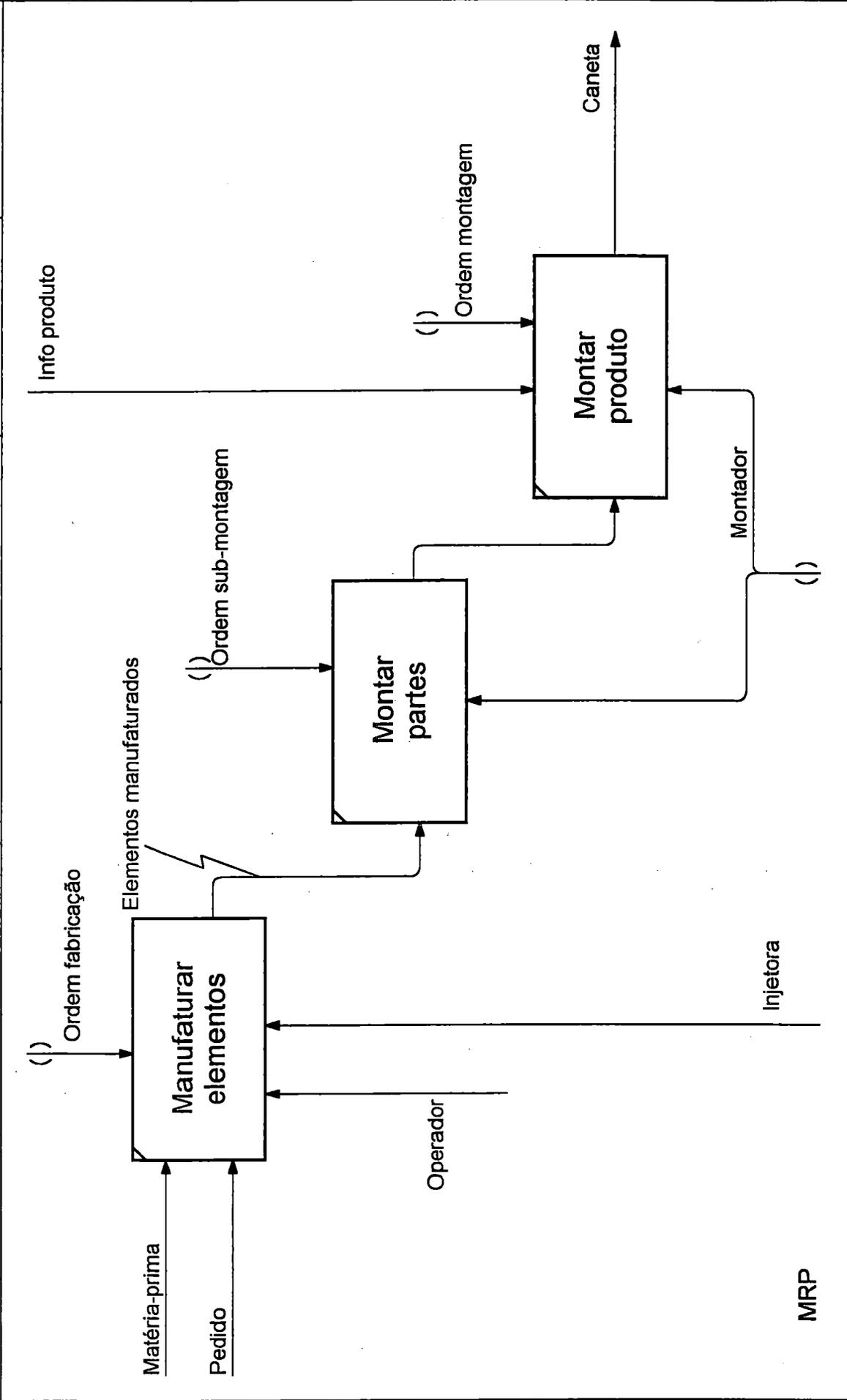
NODE: A0	TITLE: Fabricar Produto	NUMBER:
----------	-------------------------	---------

USED AT:	AUTHOR:	DATE: 12/03/98	WORKING	READER	CONTEXT:
	PROJECT: Model 3	REV: 31/03/98	DRAFT		TOP
	NOTES: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED		
			PUBLICATION		



NODE:	TITLE:	NUMBER:
A-0	Fabricar Produto	

USED AT:	AUTHOR:	DATE: 12/03/98	WORKING	READER	DATE	CONTEXT:
	PROJECT: Model 3	REV: 16/04/98	DRAFT			
	NOTES: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			A-0



NODE: A0	TITLE: Fabricar Produto	NUMBER:
----------	-------------------------	---------

1. Programação do Modelo Kanban no GPSS/H

	RMULT	, ,6777, ,38952	
*			
	SIMULATE		
	INTEGER	&PA,&EI,&OP	Declaração das variáveis
	LET	&PA=4	Produto Acabado vale 4
	LET	&OP=0	Output vale 0
	LET	&EI=3	Estoque Intermediário vale 3
*			
*			
	GENERATE	0, , ,25	Gera infinitas Transactions
	TRANSFER	.50,RS1,RS2	Transfere 50% de entidades para cada um dos recursos produtivos
*			
*			
	GENERATE	RVEXPO (3,1)	Gera demanda de expo (1)
	TEST G	&PA, 0 , TERM	Se PA é maior que 0
	BLET	&PA=&PA-1	Retira 1 unidade
*			
*			
RS1	QUEUE	SYS1	Inicia fila SYS1(fila do Recurso1)
	DEPART	SYS1	Termina fila SYS1
TEST3	TEST E	&PA, 4 ,TEST1	Se PA é igual a 4 vá para TEST1
	TEST NE	&EI, 4 ,DEM	Se EI é diferente de 4
TEST1	TEST L	&PA, 4 ,TEST2	Se PA é menor que 4 vá para TEST2
	TEST G	&EI, 0 , TEST2	Se EI é maior que 0 vá para TEST2
	BLET	&PA=&PA+1	PA é acrescido de 1 unidade
	BLET	&EI=EI-1	EI é decrescido de 1 unidade
	SEIZE	SERVER 1	Captura o Recurso1
	ADVANCE	RVEXPO (4,1)	Processamento de expo (4)
	RELEASE	SERVER 1	Libera o Recurso1
POP	BLET	&OP=&OP+1	Output é acrescido de 1 unidade
*			
*			
RS2	QUEUE	SYS2	Inicia fila SYS2 (fila do Recurso2)

	DEPART	SYS2	Termina fila SYS2 (fila do
Recurso2)			
TEST2	TEST L	&EI, 4, TEST 3	Se EI é menor que 4 vá para TEST3
	BLET	&EI=&EI+1	EI é acrescido de 1 unidade
	SEIZE	SERVER2	Captura o Recurso2
	ADVANCE	RVEXPO (5,1)	Processamento de 1 unidade
	RELEASE	SERVER2	Libera o Recurso2
	TERMINATE	1	
DEM	ADVANCE	2.5	
TERM	TERMINATE	0	
*			
*			
*			
	START	80	Tamanho da simulação: 80 unidades
	PUTPIC	LINES=2, (C1,&OP)	

	END		

2. Programação do Modelo MRP no GPSS/H

O período 8 no programa corresponde ao primeiro dia de trabalho, o período 16 ao segundo dia de trabalho e assim por diante.

	RMULT	, 546 , , 184502	
*			
	SIMULATE		
	INTEGER	&PA,&EI,&OP	Declaração das variáveis
	LET	&PA=4	Produto acabado vale 4
	LET	&EI=3	Estoque Intermediário vale 3
	LET	&OP=0	Output vale zero
*			
*			
	GENERATE	0, , 8 , 6	Gera 6 unidades no período 8
	TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1
	GENERATE	0, , 16 , 9	Gera 9 unidades no período 16
	TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1.
	GENERATE	0, , 24 , 5	Gera 5 unidades no período 24
	TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1
	GENERATE	0, , 32 , 3	Gera 3 unidades no período 32
	TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1
	GENERATE	0, , 40 , 11	Gera 11 unidades no período 40
	TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1
	GENERATE	0, , 48 , 11	Gera 11 unidades no período 48
	TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1
	GENERATE	0, , 56 , 6	Gera 6 unidades no período 56
	TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1
	GENERATE	0, , 64 , 6	Gera 6 unidades no período 64
	TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1
	GENERATE	0, , 72 , 5	Gera 5 unidades no período 72
	TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1
	GENERATE	0, , 80 , 8	Gera 8 unidades no período 80
	TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1
	GENERATE	0, , 88 , 11	Gera 11 unidades no período 88
	TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1

GENERATE	0, , 96, 4	Gera 4 unidades no período 96
TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1
GENERATE	0, , 104, 3	Gera 3 unidades no período 104
TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1
GENERATE	0, , 112, 8	Gera 8 unidades no período 112
TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1
GENERATE	0, , 120, 2	Gera 2 unidades no período 120
TRANSFER	, AR1	Transfere para o Recurso 1
GENERATE	0, , 0, 5	Gera 5 unidades no período 0
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 8, 9	Gera 9 unidades no período 8
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 16, 5	Gera 5 unidades no período 16
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 24, 3	Gera 3 unidades no período 24
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 32, 11	Gera 11 unidades no período 32
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 40, 11	Gera 11 unidades no período 40
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 48, 6	Gera 6 unidades no período 48
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 56, 6	Gera 6 unidades no período 56
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 64, 5	Gera 5 unidades no período 64
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 72, 8	Gera 8 unidades no período 72
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 80, 11	Gera 11 unidades no período 80
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 88, 4	Gera 4 unidades no período 88
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 96, 3	Gera 3 unidades no período 96
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 104, 8	Gera 8 unidades no período 104
TRANSFER	, AR2	Transfere para o Recurso 2
GENERATE	0, , 112, 2	Gera 2 unidades no período 112

```

TRANSFER      , AR2          Transfere para o Recurso 2
*
*
AR1            QUEUE          SYS1          Inicia fila SYS1 (fila do Recurso 1)
              TEST G         &EI, 0 , AR1    Se EI é maior que 0
              SEIZE          SERVER 1      Captura o Recurso 1
              BLET           &EI=&EI-1     EI é diminuído em 1 unidade
              ADVANCE        RVEXPO (2,1)  Tempo de processamento EXPO (1)
              BLET           &OP=&OP+1     Output aumenta em 1 unidade
              RELEASE        SERVER1      Libera o Recurso 1
              DEPART         SYS1         Termina fila SYS1(fila do Recurso1)
              TERMINATE      1
*
AR2            QUEUE          SYS2          Inicia fila SYS2 (fila do Recurso2)
              SEIZE          SERVER2      Captura o Recurso 2
              ADVANCE        RVEXPO (4,1)  Tempo de Processamento de EXPO (1)
              BLET           &EI=&EI+1     EI é aumentado em 1 unidade
              RELEASE        SERVER2      Libera o Recurso 2
              DEPART         SYS2         Termina fila SYS2 (fila do Recurso2)
              TERMINATE
*
*
              START         80
              PUTPIC         LINES=1, (C1)
*****
END

```

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIGA, S., GLASSEY, C.R. (1991) *Object-oriented simulation to support research in manufacturing systems*. Int.J.Prod.Res. v.29, n. 12, 2529-2542.

AGOSTINHO, O . L. (1985) *Estudo da flexibilidade dos sistemas produtivos*. São Carlos. 243p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BANKS, J., CARSON II, J. S. *Discrete-Event Simulation*. Prentice-Hall, Inc. N.J. ,1984.

BANKS, J., CARSON II, J. S., NELSON, B. L. *Discrete-Event System Simulation*. Second Edition, Prentice-Hall, Inc. N.J. ,1986.

BURBIDGE, J. L. *Planejamento e Controle da Produção*. 1.ed., Editora Atlas, 1981.

BURBIDGE, J.L.(1990) *Production control: a universal conceptual framework*. Production Planning & Control, v.1, n.1, p.3-16.

CHATUVERDI, M., GOLHAR, D.Y. (1992) *Simulation Modelling and Analysis of a JIT production system*. Production Planning and Control, v.3, n.1, p.81-92.

COOK, D.P. (1994). *A Simulation Comparison of Tradicional, JIT, And TOC Manufacturing Systems in a Flow Shop with Bottlenecks*. Production and Inventory Management Journal. 1st. Quarter.

CORRÊA, H.L., GIANESI,I.G.N. *Just in Time, MRPII e OPT - um enfoque estratégico*.2.ed. Editora Atlas, 1996.

CORRÊA, H.L., GIANESI,I.G.N, CAON, M. *Planejamento, Programação e Controle da Produção*. 1.ed. Editora Atlas, 1997.

DRAKE, G.R., SMITH, J.S. (1997) *Simulation System for Real-Time Planning, Scheduling, and Control*. <http://www.tamcam.tamu.edu/Papers/winter%20sim%2096/WS96.htm>

- DRAKE,G.R., SMITH,J.S., PETERS, B.A (1997) *Simulation as a Planning and Scheduling Tool for Flexible Manufacturing Systems*. [http:// tamcam.tamu.edu/PUBS/WS95F.HTM](http://tamcam.tamu.edu/PUBS/WS95F.HTM)
- FALLON, D., BROWNE, J. (1987) *Simulating Just in Time Systems*. International Journal of Operations and Production Management. v.8, no.6, p.30-45.
- FLAPPER, S.D.P., MILTENBURG, G.J., WIJNGAARD, J.(1991) *Embedding JIT into MRP*. International Journal of Production Research, v.29, no.2, p.329-341.
- GERSHWIN, S. B. *Manufacturing Systems Engineering*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, NJ, 1994.
- GIANESI, H.L., CORRÊA, I.G.N. *O Uso de Jogo de Empresas e Simulação no Ensino de Estratégias de Manufatura e Treinamento de Operação de Sistemas MRP II*. XII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Paulo, SP. Anais volume 2, 1992.
- GODDARD, W. E. *Just in Time: Surviving by Breaking Tradition*. Oliver Wight Limited Publications Inc., USA, 1986.
- GORDON,G. *System Simulation*.Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J.,1969.
- GRAVEL, M., PRICE, W.L.(1988) *Using the kanban in a job shop environment*. International Journal of Production Research, v.26, no. 6, p.1105-1118.
- GROOVER, M. P. (1987) *Automation production systems and computer integrated manufacturing*. Prentice Hall, New Jersey.
- HAYES, R.H., WHEELWRIGHT, S.C. (1979) *Link manufacturing process and product life cycles*. Harvard Business Review, p.133-140, jan/fev.
- HUNT, V.D. *Process Mapping - How to Reengineer your Business Process*. John Wiley & Sons, Inc., USA, 1996.



INGELS, D. M. *What every engineer should know about computer modeling and simulation*. Marcel Dekker, Inc. N.Y. 1985.

JANSEEN, W., JONKERS, H., VERHOOSSEL, J. (1997) *An evaluation framework for modelling languages and tools in Business Process Redesign*.
[Http://www.tamcam.edu/Paper/winter%20sim%2856/WS97.htm](http://www.tamcam.edu/Paper/winter%20sim%2856/WS97.htm)

KANET, J.J. (1988) *MRP 96: Time to rethink manufacturing logistics*. *Production and Inventory Management*, v. 29, p.57-61.

KELTON, W. D., SADOWSKI, R.P., SADOWSKI, D. A *Simulation with Arena*. McGrawHill, 1998.

KRAJEWSKI, L. J., KING, B. E., RITZMAN, L. P., WONG, D.S.(1987) *Kanban, MRP, and Shaping the manufacturing environment*. *Management Science*, v.33, no.1, p. 39-57.

LAW, A . M., KELTON, W. D. *Simulation Modeling and Analysis*.2.ed., Mc GrawHill, USA, 1991.

LEE, L.C.(1988). *A Comparative Study of the Push and Pull Production Systems*. *International Journal of Operations and Production Research*, v.9, n.4, p. 5-18.

LOBÃO, E. C., PORTO, A. J. V. (1997). *Proposta para Sistematização de Estudos de Simulação*. XVII ENEGEP-Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Gramado, RS, 6 a 9 out. 1997.

LUBBEN, R. T. *Just in Time: Uma Estratégia Avançada de Produção*. 2.ed.McCrawHill,1989.

MANUAL ARENA (1993) *Introdução à Simulação com ARENA*. Systems Modelling Corporation.

MANUAL ARENA (1996) *Simulation and Animation*. Systems Modelling Corporation.

MONDEN, Y. Sistema Toyota de Produção. IMAM, 1984.

MOURA, R. A. *Kanban - A Simplicidade do Controle da Produção*. 2.ed. IMAM, 1989.

NAKAGAWA, M. *Introdução à Controladoria: Conceitos, Sistemas, Implementação*. Editora Atlas, São Paulo, 1995.

ORLICKY, J. *Material Requirements Planning*. McGraw-Hill Book Company, 1975.

PEDGEN, C.D., SHANNON, R.E., SADOWSKI, R.P. *Introduction to Simulation using SIMAN*. 2.ed. McGrawHill Inc., 1995.

PETERS, B. A., SMITH, J.S., Curry, J., LaJimodiere, C., DRAKE, G. (1997) *Advanced Tutorial-Simulation-Based Scheduling and Control*.

<http://tamcam.tamu.edu/Papers/wintersim2/Advanced%20Tutorial%20.htm>

RESENDE, M. O. (1989) *Planejamento e controle da produção: teoria e prática da indústria mecânica no Brasil*. São Carlos. v.1. 233p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

RESENDE, M.O., SACOMANO, J.B. (1991) *Princípios dos sistemas de planejamento e controle da produção*. São Carlos. 224 p. Publicações 017/91 - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SACOMANO, J. B. (1990) *Uma análise da estrutura funcional do planejamento e controle da produção e suas técnicas auxiliares*. São Carlos. 378 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SARKER, B. R., HARRIS, R.D. (1988) *The effect of imbalance in a Just in Time production system: A simulation study*. International Journal of Production Research, v.26, no. 1, p.1-18.

SENGE, P.M. *A Quinta Disciplina: Arte, Teoria e Prática da Organização da Aprendizagem*.

Editora Best Seller, São Paulo, 1990.

SENGE, P.M. *A Quinta Disciplina: Caderno de Campo: Estratégias e Ferramentas para Construir uma Organização que Aprende*. Editora QualityMmrk, Rio de Janeiro, 1995.

SHANNON, R. E. (1988) *Knowledge based simulation techniques for manufacturing*. International Journal of Production Research, v.26, no.5, p.953-973.

SHANNON, R. E. *Systems Simulation: the art and science*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1975.

SILVA, E.C.C. (1994) *Kanban em célula piloto como técnica auxiliar do planejamento e controle da produção. Um estudo de caso em fábrica de médio porte*. São Carlos. 126p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SILVEIRA, B. *Minidicionário da Língua Portuguesa*. Editora FTD 1996.

SLACK, N., CHAMBERS, S. , HARLAND, C. , HARRISON, A . , JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 1.ed. Editora Atlas, 1996.

SPENCER, M.S., COX, J.F. (1995) *The role of MRP in repetitive manufacturing*. International Journal of Production Research, v.33, no.7, p.1881-1899.

YAVUZ, I.H., SATIR, A. (1995) *A Kanban-based simulation study of a mixed model just-in-time manufacturing line*. International Journal of Production Research, v.33, no.4, p.1027-1048.