

Universidade Federal de Santa Catarina  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

ADICIONADO AO ARQUIVO  
DO DEPARTAMENTO

1998

CP 81088  
DEPARTAMENTO

**Eng.º Marcelo de Carvalho Lopes**

## **Modelo para Focalização da Produção com Células de Manufatura**

Dissertação Submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a  
Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia



53.587-1



Florianópolis, Junho de 1998

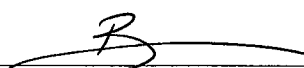
# Modelo para Focalização da Produção com Células de Manufatura

**Eng.º Marcelo de Carvalho Lopes**


Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de


**Mestre em Engenharia**

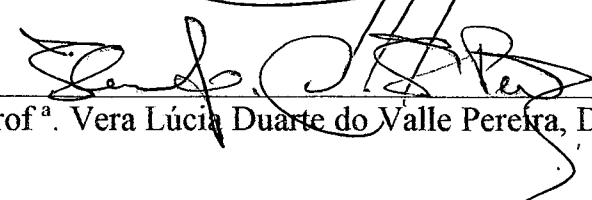
Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada na sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ricardo Miranda Barcia, Phd.  
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dálvio Ferrari Tubino, Dr.  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Paulo José de Freitas Filho, Dr.

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Vera Lúcia Duarte do Valle Pereira, Dr.ª.

## AGRADECIMENTOS

Durante o desenvolvimento deste trabalho uma série de pessoas e instituições foram fundamentais para o seu êxito. Concluído o trabalho quero deixar registrado os meus agradecimentos às seguintes pessoas/instituições:

- √ Prof. Dálvio Ferrari Tubino pela orientação do trabalho e por todas as oportunidades de desenvolvimento que me proporcionou durante o período do mestrado;
- √ Prof. José Antônio Valle Antunes Junior por ter me despertado o interesse pela engenharia de produção e pelo apoio na realização deste trabalho;
- √ Prof. Paulo Freitas e Prof.<sup>a</sup> Vera do Valle Pereira pelo auxílio no trabalho e pelos conhecimentos passados a respeito da Simulação Computacional e da Tecnologia de Grupo, respectivamente;
- √ Ao CNPq pela bolsa de estudo que viabilizou a realização deste trabalho;
- √ Agradeço também a todos os amigos que compartilharam comigo os bons e maus momentos durante este período em Florianópolis.
- √ Aos meus pais e irmãos pela formação sólida e pelo apoio que me permitiu chegar até este ponto com tranquilidade e segurança;
- √ De forma especial dedico este trabalho à minha noiva Magda Müller, que com toda compreensão me apoiou e incentivou de forma incansável ao longo deste projeto.

## RESUMO

Atualmente as empresas têm enfrentado uma concorrência pelos mercados, a nível global, extremamente voraz e seletiva na definição das vencedoras, ou sobreviventes. Em função disso, precisam desenvolver os seus sistemas de produção no sentido de oferecerem produtos e serviços adequados as necessidades dos seus clientes, com qualidade, produtividade, flexibilidade e rapidez.

A focalização da produção com células de manufatura é uma ferramenta originada da produção Just-in-Time (JIT), baseada na utilização de estruturas de produção descentralizadas e orientadas para a fabricação de famílias de produtos de forma ágil, como tais mercados exigem.

Assumindo a importância da focalização da produção com células de manufatura, este trabalho apresenta uma metodologia, que utiliza a tecnologia de grupo e a simulação computacional, para a introdução e gerenciamento dessa ferramenta nas empresas que trabalham com sistemas de produção caracterizados como repetitivos em lotes.

Além da proposição do modelo, no capítulo 5 do trabalho é apresentado um estudo de caso de uma empresa do ramo moveleiro onde ocorreu a sua aplicação. À partir da análise dos resultados obtidos é possível se ter uma idéia clara a respeito das vantagens proporcionadas pela focalização da produção com células de manufatura.

## ABSTRACT

Nowadays companies have to face up to a extremely voracious and selective global market competition to define the winners or survivors. These companies need to develop their production systems to offer appropriate products and services for their costumers, with quality, productivity, flexibility and speedy.

The production focalization with manufacturing cells is a Just-in-Time (JIT) tool, based in decentralized production structures oriented for a speedy product family production, like demand these markets.

Accepting the production focalization with manufacturing cells importance, this work presents a methodology based in group technology and computational simulation to introduce this tool in companies that work with batch repetitive production system.

Moreover, this work presents in chapter 5 a furniture company case study where this methodology was applied. The obtained results demonstrate the benefits proportionated by production focalization with manufacturing cells.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA</b>	<b>1</b>
<b>1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO</b>	<b>3</b>
1.2.1 OBJETIVO GERAL	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
<b>1.3 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO</b>	<b>4</b>
<b>1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO</b>	<b>4</b>
<b>1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO</b>	<b>5</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>6</b>
<b>2.1 INTRODUÇÃO</b>	<b>6</b>
<b>2.2 O MODELO JAPONÊS</b>	<b>6</b>
2.2.1 TÉCNICAS E PRINCÍPIOS DE GERENCIAMENTO DA PRODUÇÃO JIT	7
<b>2.3 PRODUÇÃO FOCALIZADA</b>	<b>13</b>
2.3.1 FOCALIZAÇÃO NA FABRICAÇÃO REPETITIVA EM LOTES	14
2.3.2 FOCALIZAÇÃO NOS PROCESSOS DE MONTAGEM	17
2.3.3 A FORMAÇÃO DAS CÉLULAS	17
2.3.3.1 A TECNOLOGIA DE GRUPO	17
2.3.3.2 AS TÉCNICAS DESENVOLVIDAS PARA A DEFINIÇÃO DOS GRUPOS	18
2.3.3.3 O FORMATO DAS CÉLULAS DE MANUFATURA	19
<b>2.4 A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL</b>	<b>20</b>
2.4.1 APLICAÇÕES NA MANUFATURA	21
2.4.2 OS PASSOS PARA REALIZAÇÃO DE UM ESTUDO USANDO SIMULAÇÃO	22
<b>2.5 TRABALHOS DESENVOLVIDOS NA ÁREA</b>	<b>23</b>
2.5.1 COMPARAÇÃO ENTRE LAYOUT CELULAR E LAYOUT FUNCIONAL	23
2.5.2 VANTAGENS PROPORCIONADAS PELO LAYOUT CELULAR	23
2.5.3 TRABALHOS SOBRE TECNOLOGIA DE GRUPO	25
2.5.4 PROBLEMAS PARA FOCALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO	25
2.5.5 O PCP E A FOCALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO	26
2.5.6 TRABALHOS UTILIZANDO SIMULAÇÃO	28

<b>3. MODELO PARA FOCALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO</b>	<b>30</b>
3.1 INTRODUÇÃO	30
3.2 FORMAÇÃO DO GRUPO DE TRABALHO	32
3.2.1 ESCOLHA DO GRUPO	32
3.2.2 CONSCIENTIZAÇÃO	32
3.2.3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS	33
3.2.4 DEFINIÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO	34
3.3 ANÁLISE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO ATUAL	36
3.3.1 OBTENÇÃO DE DADOS	36
3.3.2 O AMBIENTE DE PRODUÇÃO	38
3.3.3 CÁLCULO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO ATUAIS	39
3.4 PROJETO DO LAYOUT	39
3.4.1 APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE GRUPO	40
3.4.2 RESTRIÇÕES AOS AGRUPAMENTOS	41
3.4.3 O PROJETO DE LAYOUT FOCALIZADO	41
3.5 SIMULAÇÃO DA PROPOSTA DE LAYOUT	42
3.5.1 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO	43
3.5.2 CÁLCULO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO	44
3.6 IMPLANTAÇÃO DO NOVO LAYOUT	44
3.6.1 AVALIAÇÃO DOS GANHOS POTENCIAIS	44
3.6.2 DEFINIÇÃO DA ÁREA PILOTO/IMPLANTAÇÃO	44
3.6.3 EXPANSÃO DA IMPLANTAÇÃO	46
3.7 GERENCIAMENTO DO SISTEMA	46
3.7.1 ACOMPANHAMENTO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO	47
3.7.2 AMBIENTE GERENCIAL	47
3.7.3 FERRAMENTA PARA ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS	48
<b>4. ESTUDO DA APLICAÇÃO DO MODELO</b>	<b>50</b>
4.1 INTRODUÇÃO	50
4.2 A EMPRESA	50
4.3 APLICAÇÃO DO MODELO	51
4.4 FORMAÇÃO DO GRUPO DE TRABALHO	52
4.4.1 ESCOLHA DO GRUPO	52
4.4.2 CONSCIENTIZAÇÃO	52
4.4.3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS	52
4.4.4 DEFINIÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO	54
4.5 ANÁLISE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO ATUAL	54
4.5.1 OBTENÇÃO DE DADOS	55
4.5.2 O AMBIENTE DE PRODUÇÃO	60
4.5.3 CÁLCULO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO	61
4.6 PROJETO DO LAYOUT	62
4.6.1 APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE GRUPO	62
4.6.2 RESTRIÇÕES AOS AGRUPAMENTOS	63
4.6.3 O PROJETO DE LAYOUT FOCALIZADO	63
4.7 SIMULAÇÃO DA PROPOSTA DE LAYOUT	65
4.7.1 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO	67

<b>4.7.2 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO</b>	<b>68</b>
<b>4.7.3 CÁLCULO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO</b>	<b>68</b>
<b>4.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO</b>	<b>69</b>
<b>4.9 IMPLANTAÇÃO DO LAYOUT E GERENCIAMENTO DO SISTEMA</b>	<b>71</b>
<b><u>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA OS PRÓXIMOS TRABALHOS</u></b>	<b><u>72</u></b>
<b>5.1 CONCLUSÕES</b>	<b>72</b>
<b>5.2 RECOMENDAÇÕES PARA OS PRÓXIMOS TRABALHOS</b>	<b>74</b>
<b><u>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>	<b><u>76</u></b>
<b><u>ANEXO I - SISTEMA DE CODIFICAÇÃO</u></b>	<b><u>80</u></b>
<b>1. CONSTRUÇÃO DO CÓDIGO</b>	<b>80</b>
<b><u>ANEXO II - CONTROLE DE MATERIAIS</u></b>	<b><u>84</u></b>
<b>1. PLANILHA PARA CONTROLE DE MATERIAIS</b>	<b>84</b>



## SIGLAS UTILIZADAS NO TRABALHO

**JIT** - Just-in-Time;

**CQZD** - Controle de Qualidade Zero Defeitos;

**TPM** – Manutenção Produtiva Total;

**CCQ** - Círculo de Controle da Qualidade;

**WIP** - Estoque em processo;

**PFA** - Análise do Fluxo de Produção;

**PCP** - Planejamento e Controle da Produção;

**ROP** - Ponto de pedido;

**MRP** - Planejamento dos recursos de manufatura;

**OPT** - Tecnologia para otimização da produção;

**UFSC** - Universidade Federal de Santa Catarina;

**TQC** - Controle da Qualidade Total;

**FMS** - Sistema de Manufatura Flexível;

**CAPP** - Planejamento de Processo Auxiliado por Computador;

**PDCA** - Planejar, Fazer, Controlar e Agir (etapas da ferramenta gerencial do TQC);

**5S** - Programa para qualidade organizacional das empresas;

**SEBRAE** - Serviço Brasileiro de Apoio a Pequena e Média Empresa;

**EJEP** - Empresa Júnior da Engenharia de Produção;

**AMT** - “Template” de manufatura do ARENA;

**CAD** - Projeto Auxiliado por Computador.

# *Capítulo 1*

## **Introdução**

### **1.1 Contextualização do Problema**

Ao longo dos anos a competição entre as empresas a nível mundial tem crescido numa velocidade acelerada em função da evolução das tecnologias de produção, as quais têm permitido às empresas um patamar de oferta cada vez maior de bens e serviços, que devem ser comercializados em mercados com crescimento restrito, principalmente em países capitalistas tradicionais como Estados Unidos, Japão e Alemanha.

Em função deste aumento de competição as companhias têm buscado melhorar os seus sistemas de produção e de relações com o mercado para tentarem se colocar à frente dos concorrentes na disputa por estes mercados de crescimento lento ou nulo. Nesta disputa os japoneses, pioneiramente na Toyota Motor Co., conseguiram desenvolver um sistema de produção que permite melhores condições de competitividade, em comparação com o sistema clássico ou Fordista/Taylorista de produção.

O sistema japonês, aqui chamado de produção just-in-time (JIT), oferece às empresas vantagens competitivas que podem ser aferidas nos seis grandes grupos de indicadores propostos por Moreira [Moreira 96], que são: “utilização de recursos (com destaque para os custos), qualidade, tempo (principalmente nos aspectos de velocidade e confiabilidade de entrega), flexibilidade, produtividade e capacidade de inovação (principalmente em termos de estrutura organizacional, tecnologia de produtos, tecnologia de processos e sistemas gerenciais).”

Neste sistema, segundo Taiichi Ohno [Ohno 96], o objetivo definido pela Toyota é a busca da total eliminação dos desperdícios, os quais foram classificados como:

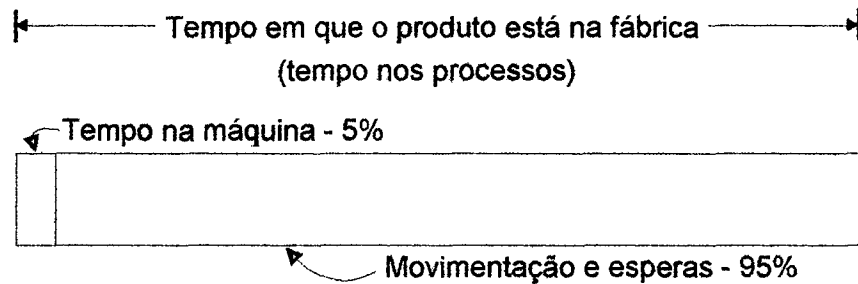
- desperdício de superprodução;
- desperdício de tempo disponível (espera);
- desperdício em transporte;
- desperdício do processamento em si;
- desperdício de estoque disponível;
- desperdício de movimento;
- desperdício de produzir produtos defeituosos.

Uma das importantes ferramentas propostas pelo sistema de produção JIT para auxiliar na redução destes desperdícios, a qual é o tema principal deste trabalho, é a produção focalizada, baseada no layout celular em contraponto ao layout funcional utilizado nos sistemas de manufatura clássica.

Segundo Shafer [Shafer 91] em um layout funcional são agrupadas as máquinas similares em uma mesma área. Quando uma peça é concluída em um estágio ela é transferida, percorrendo uma distância relativamente longa para realizar a próxima etapa do processo. Como, em função do custo, as peças são transferidas em lotes os tempos de espera envolvidos no processo se tornam muito altos. Black [Black 91] estima que num sistema com layout funcional as peças ficam somente 5% do seu tempo total na fábrica em processamento. Na Figura 1.1 está representada a distribuição do tempo de uma peça na fábrica em um sistema convencional de manufatura. Na produção focalizada com layout celular as máquinas são agrupadas em ordem de processo numa área chamada célula. Na célula o fluxo das peças é unitário e contínuo, o que elimina os tempos de espera, aumentando-se a performance do sistema.

Para se ter uma idéia quantitativa da supremacia da produção focalizada sobre a manufatura convencional, pode-se analisar os resultados obtidos na empresa americana Steward, inc. [Lavasseur 95] com a sua implantação. Os dados são os seguintes: redução de 80% nos estoques em processo e de 60% nos estoques de produtos acabados, diminuição de 86% no “lead time” de produção e 96% nos atrasos das ordens, melhoria na qualidade

dos produtos com redução de 8% nos refugos, aumento da produtividade da mão-de-obra com menos 27% dos operários e redução de 56% na área de manufatura.



Como os 5% são gastos:

- 14%: Tempo de setup necessário para trocar o ferramental para peças diferentes
- 17%: Posicionamento e descarga de peças
- 17%: Troca de ferramentas para diferentes operações
- 16%: Inspeção e desbastamento
- 36%: Usinagem mesmo (adição de valor)

Figura 1.1 *Distribuição do tempo de uma peça na fábrica em um sistema convencional de manufatura. [Black 91]*

Dentro do contexto atual de busca pela competitividade industrial e das vantagens advindas da implantação da produção focalizada com células de manufatura, ainda pouco utilizada nas empresas brasileiras, é que propõe-se este trabalho.

## 1.2 Objetivos do Trabalho

### 1.2.1 Objetivo Geral

Propor e testar um modelo estruturado em passos claros, que permita a implantação da produção focalizada com células de manufatura em empresas com sistemas de produção caracterizados como repetitivos em lotes.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- apresentar a produção focalizada com células de manufatura dentro do sistema de produção japonês, realçando a importância da sua aplicação completa através da revisão bibliográfica;

- formalizar um modelo conceitual para a implantação de um sistema de produção focalizado com células de manufatura para sistemas de produção repetitivos em lotes;
- desenvolver um modelo de simulação computacional em ambiente ARENA®, para analisar a implantação do modelo proposto de sistema de produção em uma empresa real;
- identificar através de um estudo de caso na indústria moveleira, auxiliado por um modelo de simulação computacional, as vantagens da implantação de um sistema de produção focalizado em relação ao convencional.

### **1.3 Importância do Trabalho**

Assumindo-se que a produção focalizada com células de manufatura é uma ferramenta fundamental para o aumento do poder de competição das empresas, principalmente daquelas com sistemas de produção repetitivos em lotes, este trabalho se torna relevante ao apresentar uma metodologia estruturada para que as empresas interessadas em sua implantação possam passar de um sistema convencional de produção para um sistema de produção mais eficiente.

A metodologia proposta neste trabalho foi conduzida simultaneamente com uma aplicação prática, apresentada no estudo de caso em uma empresa moveleira, com a obtenção de resultados positivos concretos. Este fato, por um lado, comprova os dados obtidos na revisão bibliográfica sobre a importância da produção focalizada com células de manufatura e, por outro, deixa claro que a metodologia proposta é de fácil aplicação e gera resultados práticos significativos para a busca do incremento da produtividade industrial.

### **1.4 Limitações do Trabalho**

Apesar dos esforços no sentido contrário, algumas limitações inerentes ao tipo de trabalho proposto ocorreram durante a sua execução. Inicialmente pode-se dizer que este trabalho está limitado quanto a aplicação do modelo conceitual em sistemas de produção repetitivos em lotes, nos quais sabidamente a implantação da produção focalizada com células de manufatura apresenta os maiores ganhos. Os demais sistemas de produção (contínuos, produção em massa e sob encomenda) não foram explorados neste trabalho.

Como optou-se pelo emprego da simulação para se analisar o comportamento da produção focalizada, não foi possível estudar alguns parâmetros que influenciam o sistema produtivo real, como por exemplo a distribuição do trabalho dentro das células e o tipo de transporte para os lotes entre as células, devido às limitações inerentes à utilização desta ferramenta de análise.

Outra limitação do trabalho foi o fato de ter sido possível aplicar o modelo conceitual no estudo de caso apresentado somente até o ponto de simulação do layout

proposto. Esta limitação se deu em função de que o tempo para a implantação prática de mudanças no layout da fábrica é muito superior ao prazo definido para a conclusão deste trabalho.

## 1.5 Estrutura do Trabalho

A fim de atender aos seus objetivos, além deste primeiro capítulo, este trabalho está estruturado como mostrado esquematicamente na Figura 1.2.

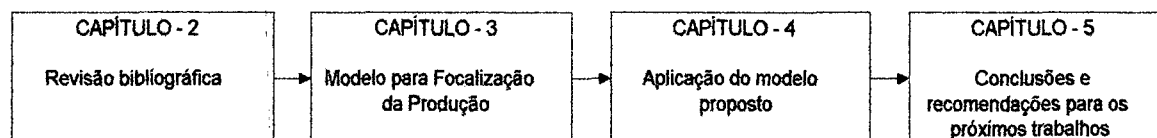


Figura 1.2 *Estrutura do trabalho.*

No capítulo 2 são apresentados os conceitos básicos das principais ferramentas do sistema de produção JIT e a sua relação com a produção focalizada. Além disto, são descritos os tipos principais de técnicas desenvolvidas para se aplicar a tecnologia de grupo em empresas que desejam implantar células de manufatura. Na etapa seguinte do capítulo estão enumerados os passos que devem ser seguidos para se fazer um estudo através da utilização da simulação computacional além de outras considerações a respeito das possíveis aplicações da simulação à manufatura. Na parte final do capítulo estão enumerados alguns trabalhos desenvolvidos na área por outros grupos de pesquisa, com a finalidade de se apresentar os pontos relacionados com a produção focalizada e com células de manufatura que estão sendo pesquisados.

À partir dos conceitos teóricos definidos no capítulo 2 é apresentado no capítulo 3 um modelo conceitual, esquematizado passo a passo para se fazer a Focalização da Produção com Células de Manufatura em uma empresa que trabalhe com processos repetitivos em lote [Tubino 97]. O modelo segue o sistema tradicional para a formação de layout até o momento que propõe a utilização da tecnologia de grupo para a formação das células de manufatura e da simulação computacional para o ajuste de parâmetros do novo sistema de produção.

Definido o modelo, descrevemos no capítulo 4 um estudo de caso onde ocorreu a sua implementação até o etapa de simulação computacional. A empresa estudada produz móveis seriados e se enquadra dentro do grupo de processos repetitivos em lote. O modelo não foi aplicado completamente em função da restrição de tempo para a conclusão desta dissertação. Neste capítulo são comparados alguns indicadores de produção da empresa trabalhando sob a ótica da manufatura convencional, com os dados obtidos através da simulação computacional num sistema que emprega a manufatura celular.

Finalmente, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões obtidas através do desenvolvimento do trabalho e as recomendações para trabalhos futuros.

## *Capítulo 2*

# **Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Introdução**

Neste capítulo serão apresentados diversos conceitos obtidos através da revisão bibliográfica, com a finalidade de dar suporte ao modelo desenvolvido no trabalho. Além disso serão analisados artigos científicos recentes, para posicionar o assunto em termos de pesquisa em outros grupos de trabalho.

### **2.2 O Modelo Japonês**

O modelo japonês, que neste trabalho será chamado de produção just-in-time (JIT), é baseado no sistema de produção desenvolvido na Toyota Motor Ltd., consolidado após a segunda guerra mundial, o qual é formado por uma série de técnicas de engenharia industrial e conceitos ou princípios de gerenciamento. A revisão bibliográfica do JIT será realizada com a finalidade de posicionar a produção focalizada com células de manufatura, assunto principal deste trabalho, dentro do modelo japonês ou produção just-in-time (JIT). Isto será feito em função de que os maiores ganhos proporcionados pela utilização da

focalização da produção somente são alcançados através da aplicação completa deste modelo de produção JIT.

A produção just-in-time nasceu da busca pela Toyota Motor Ltd. de total eliminação dos desperdícios nos seus processos, a fim de garantir a sobrevivência da empresa. Segundo o seu criador Taiichi Ohno, just-in-time significa que em um processo de fluxo, os componentes corretos devem chegar a linha de montagem somente no momento e na quantidade certa. [Ohno 97]

O objetivo econômico principal obtido através da aplicação completa do fluxo de produção just-in-time em uma empresa é a eliminação dos inventários, de forma que se chegue ao estoque zero. Além disso, a eliminação dos estoques permite, através do gerenciamento visual da fábrica, uma rápida percepção e busca de solução para os problemas que ocorrem no chão-de-fábrica.

Com relação ao atendimento do mercado consumidor de uma empresa, o just-in-time, através das técnicas de engenharia de produção que utiliza, permite que se produza uma pequena quantidade de muitas variedades de produtos. Isto é sinônimo de flexibilidade e atualmente é um fator fundamental para se aumentar a competitividade de uma empresa.

### **2.2.1 Técnicas e Princípios de Gerenciamento da Produção JIT**

Segundo Monden [Monden 84] a menos que todos as técnicas de engenharia industrial e princípios de gerenciamento necessários para o funcionamento da produção JIT sejam implantados de forma bem sucedida, os benefícios obtidos através do uso do modelo não serão completos.

Através de pesquisa realizada por Youssef [Youssef 94] nos Estados Unidos com 165 empresas que introduziram algumas técnicas da produção JIT, com relação a qualidade de produto, habilidade na manufatura, qualidade de engenharia e projeto, qualidade em vendas e qualidade global, foi possível se constatar que as organizações que apresentaram melhor performance foram aquelas que utilizaram o maior número de técnicas propostas pelo sistema. A conversão das instalações para produção focalizada com células de manufatura foi considerada um dos fatores mais importantes nesta avaliação de performance. Isto evidencia a importância de se compreender e empregar o sistema como um todo, através da utilização de todas as técnicas que propõe a produção JIT.

As técnicas e princípios de gerenciamento apresentados no modelo e que possuem uma relação direta com a focalização da produção são as seguintes: CQZD - "Poka Yoke", trabalho com operadores polivalentes, operações padronizadas, redução dos tempos de "setup", kanban e TPM.

**CQZD - "Poka Yoke"**: o Controle de Qualidade Zero Defeitos é um programa racional e científico que busca a eliminação da ocorrência de defeitos através da identificação e controle das causas de anomalias. A identificação das causas de problemas são realizadas através da utilização de ferramentas como o "5W1H" e o "5W's", dentre



outros. Após a identificação das causas dos problemas, são utilizados dispositivos do tipo “Poka Yoke” com a finalidade de detectar a ocorrência das anomalias no processo e, forçar uma ação corretiva imediata. Desta forma se busca evitar a propagação de defeitos nos processos, possibilitando que se alcance o objetivo de Zero Defeitos. Estas técnicas são fundamentais no suporte à automação.

Segundo Ghinato [Ghinato 96], os quatro pontos fundamentais para a sustentação do CQZD são:

1. Utilização de inspeção na fonte: esta inspeção, de carácter preventivo, é capaz de eliminar a ocorrência de defeitos, pois o controle é exercido na origem e não sobre os resultados do processo;
2. Utilização de inspeção 100% ao invés de inspeção por amostragem;
3. Redução do intervalo de tempo entre a detecção de uma anomalia e a aplicação de uma ação corretiva;
4. Reconhecimento de que os operadores não são infalíveis: eliminação da possibilidade de falha dos operadores através da utilização de dispositivos a prova de falhas (“Poka Yoke”), controlando os processos na origem.

Os dispositivos “Poka Yoke” são elementos capazes de detectar anomalias nos procedimentos de operadores ou máquinas. Desta forma, são bloqueadas as possibilidades de ocorrência de erros na execução das operações. Ghinato [Ghinato 96] destaca que os dispositivos “Poka Yoke” podem ser acoplados também às operações de transporte, inspeção e até estocagem. As características destes dispositivos são as seguintes:

- apresentam capacidade de utilização em regime de inspeção 100%;
- são simples e dispensam a atenção permanente do operador, o que permite a operação de diversas máquinas numa célula;
- possuem, geralmente, baixo custo de implantação.

**Operadores Polivalentes:** no sistema de produção focalizada com células de manufatura os processos múltiplos são substituídos por operadores com múltiplas habilidades, capazes de operar diferentes tipos de máquinas. Monden [Monden 84] apresenta o exemplo da fabricação de uma engrenagem na Toyota onde o operador se desloca ao longo de uma célula operando 16 tipos diferentes de máquinas, completando a fabricação da engrenagem.

Esta possibilidade de deslocamento do operário ao longo da célula permite que se tenha um bom grau de flexibilidade em relação a variações na demanda, pois quando esta cresce é possível se aumentar a produção pelo acréscimo de operários; todavia se a demanda diminui, o número de operários na célula pode ser reduzido. Esta condição de ajuste é denominada na Toyota “Shojinka”. Na Figura 2.1 podemos visualizar um esquema de alocação dos operários na célula.

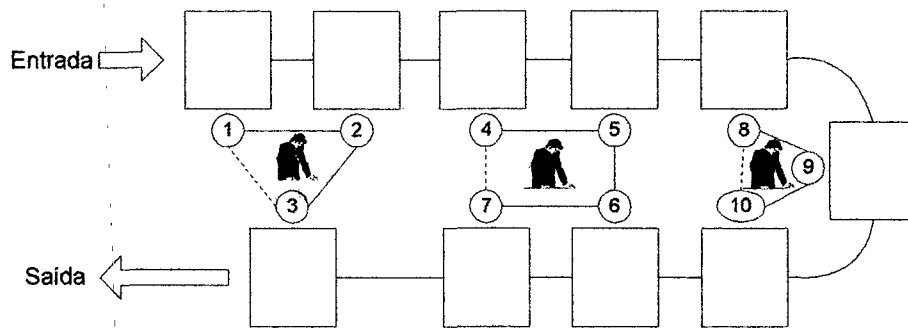


Figura 2.1 *Esquema de alocação de operários na célula.* [Monden 84]

Bischak [Bischak 95] realizou um estudo comparativo, utilizando simulação computacional, entre o sistema de produção com operários fixos e o sistema de produção com operários polivalentes se movimentando dentro das células de manufatura. As vantagens do sistema com operários polivalentes apresentadas pela autora são as seguintes:

- as células com operários polivalentes e móveis permitem uma grande flexibilidade nos níveis de produção, pois o número de operários pode ser facilmente reduzido ou aumentado conforme as variações de demanda;
- os estoques em processo podem ser reduzidos significativamente (dados da indústria do vestuário coletados pela autora indicam a possibilidade de redução de até 60% nos estoques em processo, em comparação com a indústria convencional);
- os efeitos provenientes do desbalanceamento de trabalho entre máquinas, em função de modificações nos produtos, são bem assimilados pelas células com operários móveis;
- os custos laborais são reduzidos e a produtividade por empregado aumenta. (no caso da indústria do vestuário pesquisada, foi constatado um aumento de mais de 20% na produtividade por operário);
- a qualidade dos produtos apresenta melhoras significativas.

Do estudo realizado com o uso de simulação a autora concluiu que a independência entre centros de trabalho gerada pelos estoques em processo na manufatura convencional é obtida na manufatura celular através dos trabalhadores móveis, em função de haver menos operários do que máquinas, permitindo que os trabalhadores se movam ao longo da célula. Além disso, afirma que em um sistema com baixo coeficiente de variação nos tempos de processo o acréscimo de estoques não recupera qualquer capacidade de produção e somente gera um aumento do “lead time”. Nestes sistemas com baixa variação, os operadores móveis são capazes de absorver boa parte da flutuação nos tempos de processamento.

**Operações Padronizadas:** a padronização das operações objetiva, segundo Monden [Monden 84], a obtenção de alta produtividade, em função da determinação de

uma seqüência padronizada de operações a serem executadas pelos operadores, descritas em documentos chamados “folhas de operação padrão”.

O segundo objetivo buscado com a padronização das atividades é o balanceamento de linha entre os processos de produção, em função dos tempos de fabricação. Para tanto, é fundamental a determinação dos tempos de ciclo (tempo alocado para se fazer uma peça ou unidade) para as operações padronizadas. O tempo de ciclo é calculado de acordo com a Fórmula 2.1, apresentada abaixo:

$$\text{Tempo de ciclo} = \frac{\text{Tempo efetivo de operação diária}}{\text{Quantidade diária necessária de produção}} \quad (2.1)$$

O terceiro objetivo é a redução dos materiais em processo à quantidade mínima necessária, denominada “quantidade padrão de material em processo”. Ao se alcançar este objetivo o nível de inventário tende a cair drasticamente.

Shingo [Shingo 96b] define o cartão de produção como a combinação efetiva de materiais, trabalhadores e máquinas na busca da produção eficiente. Além disso, afirma que os cartões de operação padrão facilitam a tarefa de treinamento dos operários pelos supervisores.

**Redução dos Tempos de Preparação “Setup”:** a exigência feita pelo mercado consumidor de grande flexibilidade por parte das empresas em pontos como diversidade de produtos ou velocidade de atendimento de pedidos, os quais podem ser alterados de forma inesperada, são alguns dos fatores que justificam a busca incessante da redução dos tempos de preparação por parte das indústrias.

Esta redução permite que as empresas possam trabalhar com pequenos lotes de fabricação, oportunizando uma diminuição acentuada nos tempos de atravessamento “lead time” dos seus produtos, o que possibilita um melhor atendimento do mercado. Shingo [Shingo 96b] apresenta uma metodologia para se obter a redução dos tempos de “setup”.

Segundo Monden [Monden 84] as maiores vantagens obtidas com a troca rápida de ferramentas são: a minimização dos estoques, a produção orientada por ordem de serviço e a pronta adaptabilidade as alterações de demanda.

Neste caso, a organização das máquinas em células de manufatura para a fabricação de famílias de peças com características de processo semelhantes favorece a redução do tempo e da frequência dos “setups”. Shingo [Shingo 96b] afirma inclusive que mesmo com lotes grandes de produção a maior redução no tempo de ciclo se obtém quando cada item é transportado unitariamente entre os processos, o que reforça as vantagens da utilização das células na manufatura.

Black [Black 91] demonstra em seu livro que com a redução dos tempos de “setup” o tamanho do lote economicamente viável para a produção é grandemente reduzido. Na Figura 2.2 estão representadas as relações entre o custo total por unidade e o custo de “setup”.

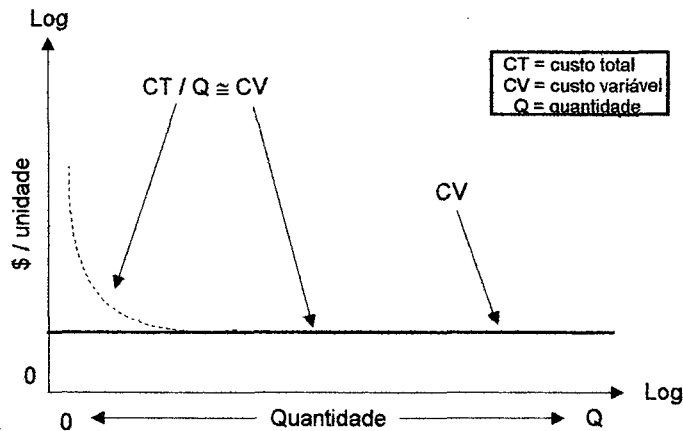


Figura 2.2 Efeito da redução do custo de "setup" no custo total por unidade. [Black 91]

**Kanban:** a inspiração inicial para o desenvolvimento do kanban, segundo seu criador Taiichi Ohno [Ohno 97], foi a análise sobre o sistema de funcionamento dos supermercados americanos. Ohno destaca o seguinte: "Do supermercado pegamos a idéia de visualizar o processo inicial numa linha de produção como um tipo de loja. O processo final (cliente) vai até o processo inicial (supermercado) para adquirir as peças necessárias (gêneros) no momento e na quantidade que precisa. O processo inicial imediatamente produz a quantidade recém retirada (abastecimento das prateleiras)".

Dentro das manufaturas este raciocínio significa a inversão do processo convencional de produção, onde os componentes são empurrado dos processos iniciais para as linhas de montagem. Na produção dentro da filosofia JIT os processos de montagem, de forma análoga aos clientes nos supermercados, vão buscar (puxar) nos processos anteriores as peças necessárias para as suas atividades, nas quantidades necessárias e no momento certo. Estas duas lógicas de produção estão esquematicamente representadas na Figura 2.3.

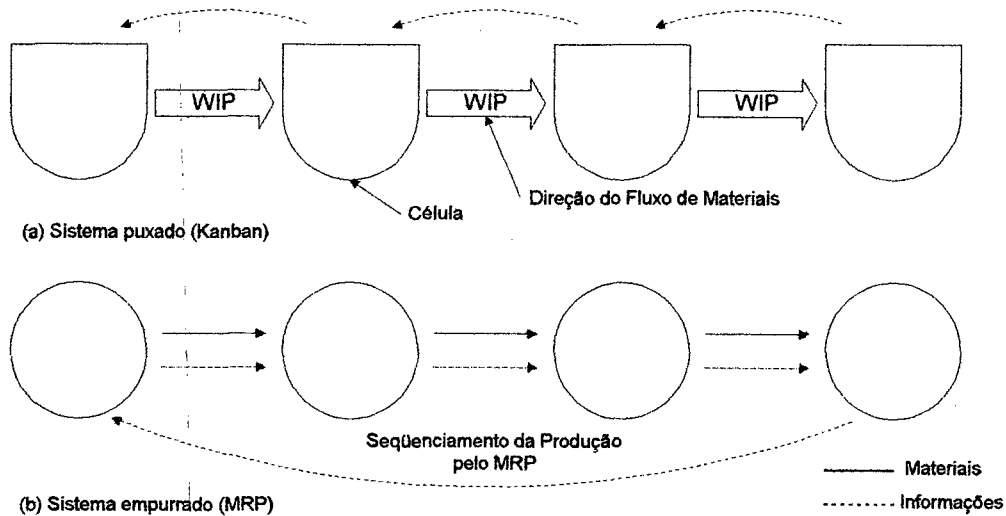


Figura 2.3 Representação dos sistemas de puxar e empurrar a produção. [Black 91]

A maneira mais freqüente de operacionalização desta forma de produção é através da utilização de cartões de papel presos à contenedores padronizados em envelopes de vinil. Segundo Ohno [Ohno 97] os cartões kanban levam três tipos diferentes de informações: (1) informação de coleta, (2) informação de transferência, e (3) informação de produção. Os cartões podem ser utilizados no controle da produção internamente ou com fornecedores externos. Na Figura 2.4 apresentamos um exemplo de kanban de requisição.

N° da Prateleira de estoque		5E215	Abreviação do item		A2-15	Processo precedente	
N° do item		35670507				Forjaria B-2	
Nome do item		Pinhão da Direção				Processo Subseqüente	
Tipo de carro		SX50BC				Usinagem M-6	
Capacidade da caixa	Tipo de caixa	N.º de emissão					
20	B	4/8					

Figura 2.4 Exemplo de um cartão kanban de requisição. [Monden 84]

Através desse sistema extremamente simples as funções de planejamento e controle da produção se tornam muito mais elementares. Além disso, quando todos os pré-requisitos da produção JIT estão em funcionamento o uso do kanban previne a superprodução por antecipação.

**Manutenção Produtiva Total (TPM):** para que se possa obter sucesso durante a implantação da filosofia Just-in-Time, atendendo-se a premissa de que os componentes utilizados em uma empresa devem ser produzidos somente no tempo e na quantidade certa, a necessidade de garantia de que os equipamentos utilizados para este fim estarão disponíveis no momento necessário para a produção passa a ser muito grande. Em função disso, foi desenvolvido o sistema de Manutenção Produtiva Total, o qual a exemplo do TQC busca o envolvimento de todos os colaboradores de uma empresa.

O autor Nakajima [Nakajima 89] destaca como os cinco principais objetivos da TPM, os descritos abaixo:

1. Garantir a eficiência global das instalações;
2. Implementar um programa de manutenção para otimizar o ciclo de vida dos equipamentos;
3. Requerer o apoio dos demais departamentos envolvidos no plano de elevação da capacidade instalada;
4. Solicitar dados e informações de todos os funcionários da empresa;

5. Incentivar o princípio de trabalho em equipe para consolidar ações de melhoria contínua.

Ainda segundo Nakajima [Nakajima 89], uma implementação bem sucedida do TPM pode proporcionar as seguintes melhorias na performance de uma planta:

- produtividade: aumento de 50 a 200%;
- qualidade: pode-se chegar a zero defeitos (princípio da filosofia JIT);
- custos: redução de até 70% nos custos de trabalho; de até 50% nos custos de manutenção e de até 80% nos custos de energia;
- estoques: redução de até 90% nos níveis de estoque; aumento de até 100% nos giros de estoque;
- moral: aumento de até 500% nas sugestões.

## 2.3 Produção Focalizada

A produção focalizada é uma forma de organização da produção que visa romper com o modelo clássico de crescimento das empresas, onde os departamentos e linhas de montagem vão se expandindo desordenadamente em função das necessidades de aumento de produção para atendimento dos mercados destas empresas.

Através da produção focalizada um produto ou família de produtos passam a ser tratados como um negócio específico, com suas características produtivas e mercadológicas próprias, segundo a definição de uma estratégia competitiva adequada para cada produto. Desta forma, as empresas passam a dividir fisicamente os seus recursos, montando fábricas focalizadas em produtos, ou famílias de produtos específicos. A partir daí, o crescimento não se dá mais pelo aumento dos antigos departamento e linhas de montagem, mas sim pela criação de novas unidades de negócios focalizadas.

Atualmente, as empresas fornecedoras de autopeças montam pequenas unidades de produção focalizadas para o atendimento de uma determinada montadora, instaladas inclusive fisicamente próximas da mesma, de maneira a tirar vantagens tanto em termos organizacionais internos, como em termos de logística de fornecimento externo para o cliente. Segundo Harmon e Peterson [Harmon 91] uma fábrica focalizada possui as seguintes vantagens na busca pelos princípios da produção JIT:

- domínio do processo produtivo: por ser uma fábrica pequena as comunicações fluem mais facilmente, permitindo que cada gerente, supervisor e funcionário conheça todos os aspectos importantes da fabricação dos produtos. Desta forma, aumenta-se a identificação e solução de problemas;
- gerência junto à produção: com o enxugamento dos níveis hierárquicos pela redução da complexidade dos processos, a gerência pode ficar localizada próxima ao chão-de-

fábrica, aumentando a velocidade de resposta na tomada de decisões. O gerenciamento pode ser mais centrado nos aspectos visuais do que em cima de relatórios periódicos;

- “staff” reduzido e exclusivo: o pessoal de apoio pode ficar junto ao local onde presta o serviço, especializando-se em suas tarefas. A focalização do “staff” facilita a programação dos serviços de apoio aos clientes internos, reduzindo as paradas de produção e acelerando a solução dos problemas;
- estímulo a polivalência de funções: em fábricas pequenas tanto as funções produtivas como as de apoio são executadas por um número menor de pessoas, induzindo ao conceito de funcionário polivalente. As responsabilidades pela produção, qualidade, manutenção, movimentação, etc. são compartilhadas por todos e podem ser melhor distribuídas. Permite o uso efetivo do conceito de Círculos de Controle de Qualidade (CCQ) e de remuneração variável pelo desempenho do grupo;
- uso limitado dos recursos: em fábricas pequenas os recursos colocados a disposição da produção são limitados, o que facilita a identificação e eliminação de atividades que não agregam valor aos produtos e estimula a disseminação do princípio do melhoramento contínuo. Estoques excessivos e equipamentos ociosos prontamente aparecem.

Desta forma, a focalização da produção permite que as empresas respondam de forma muito mais ágil às pressões competitivas do mercado, o que pode garantir a sua sobrevivência.

Nos dois tópicos seguintes vamos abordar a focalização nos processos de fabricação repetitiva em lotes, onde a produção JIT se aplica perfeitamente e, nos processos de montagem.

### **2.3.1 Focalização na Fabricação Repetitiva em Lotes**

O crescimento fora de foco nas empresas que trabalham com layout convencional, onde as máquinas ficam concentradas por tipo em uma determinada área na fábrica, originou uma série de perdas ou desperdícios decorrentes do trabalho com grandes lotes que devem ser transportados ao longo dos departamentos na busca dos recursos para a sua transformação.

O layout convencional foi desenvolvido como solução para a utilização do tempo ocioso das máquinas no aumento da produção. Desta forma, a capacidade de produção de um determinado departamento seria a soma das capacidades individuais das máquinas, não se admitindo que tais máquinas pudessem ficar paradas. Pode-se dizer que o maior incentivador dos layouts departamentais foi o conceito contábil de valor agregado. Segundo este conceito, cada vez que uma máquina é acionada para beneficiar uma matéria-prima ou uma peça em processo, está se adicionando valor a essa matéria-prima ou peça, mesmo que elas fiquem durante um tempo elevado em estoques intermediários (WIP) ou de produtos acabados a espera de clientes para consumi-las. Neste sistema de produção a ênfase está em se aumentar a produtividade individual dos recursos e não em acelerar o

fluxo de conversão de matérias-primas em produtos acabados segundo as necessidades dos clientes.

Infelizmente a utilização do layout convencional gera uma série de desperdícios que não são bem avaliados pelas empresas que o utilizam. No Japão arrasado pelo pós-guerra, principalmente na Toyota, estes desperdícios foram melhor avaliados e foi desenvolvida a produção JIT, onde o sistema é focalizado com a utilização de células de manufatura.

Segundo relato de Taiichi Ohno [Ghinato 96] a respeito da situação da Toyota em 1947, só havia duas maneiras de se aumentar a eficiência da linha de produção da empresa: aumentar a quantidade produzida ou reduzir o número de trabalhadores. Em função da situação do mercado japonês naquela época, Ohno teve que direcionar o seu trabalho para a redução do número de trabalhadores. Partindo desta conclusão Ohno começou a organizar o layout da Toyota em linhas paralelas ou em forma de “L”, de forma que um trabalhador pudesse operar de três a quatro máquinas em cada ciclo de fabricação, obtendo assim um aumento na eficiência de produção de 2 a 3 vezes, começando desta maneira a construir os conceitos de manufatura celular.

No layout celular as máquinas são agrupadas por produto, focalizando-se a fabricação de um produto ou família de produtos. Desta forma a ênfase da produção passa a ser a aceleração do fluxo de conversão de matérias-primas em produtos acabados, pois nas células as máquinas estão dispostas na seqüência de fabricação dos itens, o que faz o fluxo se tornar contínuo nestes agrupamentos. A consequência direta desta nova forma de trabalho é a significativa redução no tempo de produção (“lead time”) dos produtos.

Os tempos que compõem o “lead time” de um item fabricado de forma intermitente em lotes podem ser divididos em: tempo de tramitação da ordem de fabricação, tempo de espera na fila do recurso, tempo de “setup”, tempo de processamento e tempo de movimentação. Com exceção do tempo de tramitação da ordem de fabricação, reduzido pelo “kanban” para se puxar a produção, os demais tempos são drasticamente reduzidos, ou até eliminados, com a implantação do layout celular. Ou seja:

- tempo de espera na fila: é eliminado pela disposição adequada das máquinas segundo o roteiro de fabricação do item e pela produção em fluxo unitário. Elimina-se assim as filas de espera nas máquinas e, conseqüentemente o seu seqüenciamento;
- tempo de “setup”: a própria fabricação de famílias de peças já proporciona uma significativa redução de “setup”. Além disso, com a troca rápida, são minimizados os tempos onde precisa existir “setup”;
- tempo de processamento: os tempos de processamento são reduzidos, em função da redução dos tempos de “setup” e, da conseqüente redução dos tamanhos de lote.
- tempo de movimentação: a aproximação dos equipamentos reduz significativamente as necessidades de transporte dos itens. Por outro lado, com o processamento unitário e a diminuição dos tamanhos de lote, os itens podem ser transportados pelos próprios



operários, sem a necessidade de equipamentos dispendiosos e espaço físico para a movimentação e posicionamento desses equipamentos.

Além das vantagens em termos de velocidade de transformação das matérias-primas, segundo o conceito de focalização da manufatura apresentado por Harmon e Peterson [Harmon 91], as empresas devem ser reorganizadas em “fábricas dentro de uma fábrica”, com um perfil descentralizado onde as decisões e os processos são executados de forma dinâmica. As células de manufatura exercem papel fundamental nesta concepção, pois focalizam a manufatura sobre famílias de peças, onde as informações e as oportunidades de melhoria aumentam bastante com a aproximação das máquinas e a criação do conceito de cliente/fornecedor entre os operadores adjacentes, dentro e fora da célula.

Abaixo apresentamos algumas das características que devem estar presentes em uma empresa focalizada e que são facilitadas com a utilização de células de manufatura:

- excelente comunicação: em função da disposição física da célula as pessoas podem conversar entre si, o que facilita a comunicação dentro da empresa;
- descentralização dos serviços de apoio: nas células, os trabalhadores podem se organizar para executar diversas funções de apoio, como pequenos reparos, organização e limpeza da área de trabalho, além das tarefas de manutenção preventiva;
- relacionamento direto cliente/fornecedor: através da proximidade dos operários dentro das células, o “feed back” a respeito dos itens produzidos, principalmente com relação a qualidade, é instantâneo. Na organização focalizada, com a proximidade entre as áreas de montagem e as áreas de fabricação de componentes, esta relação de cliente/fornecedor é estendida para fora das células;

Com a obtenção de todas estas vantagens, com certeza as empresas se tornam mais flexíveis e conseqüentemente mais competitivas. Através da análise da Figura 2.5 podemos comparar a simplificação que ocorre no fluxo de produção com a passagem de um layout convencional para um sistema focalizado por produto, utilizando layout celular.

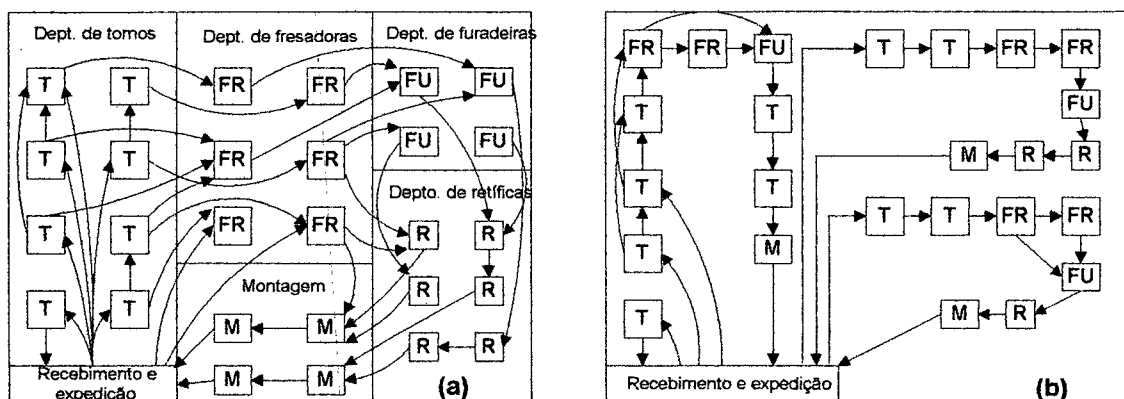


Figura 2.5 Fluxo de produção em uma empresa com layout convencional (a) e com layout celular (b). [Black 91]

## **2.3.2 Focalização nos Processos de Montagem**

Assim como ocorre a focalização nos processos de fabricação de componentes, também deve ocorrer a focalização dos processos de montagem. Nos processos de montagem inclusive, em função de apresentarem características de produção repetitiva em massa, a focalização se torna mais fácil.

Os processos de montagem focalizados para um desempenho superior, dentro do conceito de produção JIT, apresentam diferenças com relação aos processos convencionais de montagem nos seguintes aspectos: formato, tamanho, número de produtos por linha, distribuição de tarefas e sinalizações de auxílio à produção.

No caso das linhas de montagem, em função dos conceitos da produção JIT, deve ocorrer uma substituição do formato retilíneo para o formato em “L” ou “U” para as linhas pequenas (2 a 8 posições) e formato serpentina para as linhas maiores. Este formato, pela aproximação dos operários, favorece as ações de trabalho em grupo voltadas para a garantia da qualidade. Também oferece os benefícios alcançados com o formato em “U” nos processos intermitentes em lote, que são: manutenção de um ritmo de produção pelo sincronismo dos tempos de ciclo dos operadores; flexibilidade na capacidade de produção pela adição/remoção de operadores; manutenção do padrão individual de operação independente dos tempos de ciclo; e facilidade em adequar o layout às instalações pela compressão ou expansão da linha. Além disso, os layouts para linha de montagem baseados no formato em “U” reduzem as distâncias e os custos de retorno dos contenedores e plataformas de montagem vazias para o início da linha, e favorecem a distribuição e movimentação dos estoques em processo, os quais podem ser focalizados ao redor da área de montagem, acelerando o fluxo e reduzindo os espaços físicos necessários.

## **2.3.3 A Formação das Células**

O modo de formação das células de manufatura mais apresentado na bibliografia consultada é através da utilização da tecnologia de grupo, nas suas diferentes formas de aplicação. Nas seções seguintes serão apresentados os conceitos principais da tecnologia de grupo e algumas das técnicas utilizadas para a sua aplicação.

### **2.3.3.1 A Tecnologia de Grupo**

A tecnologia de grupo é uma ferramenta utilizada para a formação de células de manufatura através da exploração de características comuns nas peças fabricadas por uma determinada empresa. Estas características podem ser de projeto ou de processo. Lorini [Lorini 93] conceitua tecnologia de grupo como uma filosofia que define a solução de problemas explorando semelhanças, para se obter vantagens operacionais e econômicas mediante um tratamento de grupo. Na fabricação, busca-se as vantagens econômicas da produção em massa para a produção de pequenos lotes.

### 2.3.3.2 As Técnicas Desenvolvidas para a Definição dos Grupos

Vamos apresentar neste tópico as metodologias empregadas para a definição dos grupos de máquinas/peças, descritos no artigo de Singh [Singh 93]:

- sistemas de classificação e codificação para famílias de peças: a codificação se refere ao processo de se atribuir um código à uma peça. O código representa os atributos da peça que serão levados em conta na formação de famílias com atributos semelhantes. A classificação se refere a categorização das peças em grupos em função dos atributos de projeto, processo ou ambos. Alguns dos sistemas de classificação e codificação conhecidos são os seguintes: Opitz, CODE, CUTPLAN, DCLASS e Multi Class;
- análise da matriz peça/máquina: esta metodologia é baseada na Análise do Fluxo de Produção (PFA), onde são permutadas linhas e colunas em uma matriz de incidência peça/máquina preenchida com os índices 0 ou 1 (1 se a peça passa pela máquina da respectiva linha e 0 se a peça não passa pela máquina). Estas permutações visam diagonalizar a matriz, resultando após o processo uma indicação dos agrupamentos que devem ser efetuados. Na Figura 2.6 está apresentada uma matriz de incidência inicial (a) e o resultado da sua diagonalização (b). Alguns dos algoritmos utilizados para se fazer estas permutações são os seguintes: Bond Energy Algorithm, Rank Order Clustering (ROC), Direct Clustering Algorithm e ROC modificado;

	P1	P2	P3	P4	P5
M1		1		1	1
M2	1		1		
M3		1		1	
M4	1		1		

matriz (a)

	P1	P3	P2	P4	P5	
M2	1	1				Célula 1
M4	1	1				
M1			1	1	1	Célula 2
M3			1	1		

matriz (b)

M(i) = Máquina  
P(j) = Peça

Figura 2.6 Exemplo de diagonalização da matriz de incidência peça/máquina.

- métodos baseados em coeficientes de similaridade: os coeficientes de similaridade podem ser utilizados independentes ou conjuntamente com redes, programação matemática ou metodologias baseadas em conhecimento. Para realizar a definição das famílias, são definidas medidas de similaridade entre máquinas, ferramentas, características de projeto, etc. Os métodos utilizados para definir as famílias utilizando os coeficientes de similaridade são: Single Linkage Cluster Analysis, Average Linkage Method, Complete Linkage Method, Centroid Method e Median Method, dentre outros;
- métodos matemáticos e heurísticos: um grande número de pesquisas na área de formação de células, que não usam explicitamente os coeficientes de similaridade tem aparecido na literatura. Estas técnicas empregam programação matemática e outros métodos analíticos ou heurísticos;

- métodos baseados em reconhecimento de padrões e conhecimento: poucos trabalhos nas áreas de inteligência artificial e reconhecimento de padrões aplicados a formação de células têm sido encontrados. Kusiak (1988) apud Singh [Singh 93] por exemplo, desenvolveu um sistema baseado no conhecimento que utiliza as vantagens dos sistemas especialistas e otimização, considerando capacidade de máquina, capacidade de transporte de materiais, requisitos tecnológicos e dimensões das células, para formar os agrupamentos;
- enfoque de conjuntos difusos: muitos dos enfoques para a formação de células assumem que os dados sobre custos de processamento, tempo de processamento, demanda de peças, dentre outros, são precisos. Assumem também que cada peça pode pertencer somente a uma única família. No entanto existem peças onde esta dedução não é muito evidente. O enfoque com conjuntos difusos permite que se tenha uma solução para estes problemas.
- enfoque baseado em redes neurais: do ponto de vista computacional, o problema de formação de células é essencialmente o que pode ser caracterizado como "NP-hard". Esta é uma das principais razões para que tantas soluções heurísticas para o problema sejam encontradas na literatura. No entanto o que é necessário é um enfoque que seja rápido e assegure uma boa solução para o problema. A utilização da redes neurais artificiais (ANN) para o problema de formação de células é bastante promissor.

### 2.3.3.3 O Formato das Células de Manufatura

A forma de organização das máquinas em uma célula depende dos tipos de processos utilizados na empresa. Além disso, das restrições de tamanho, fundações, emissão de poluentes e mobilidade das máquinas que compõem o layout. Abaixo vamos descrever quatro tipos diferentes de arranjos das células, conforme representado na Figura 2.7.

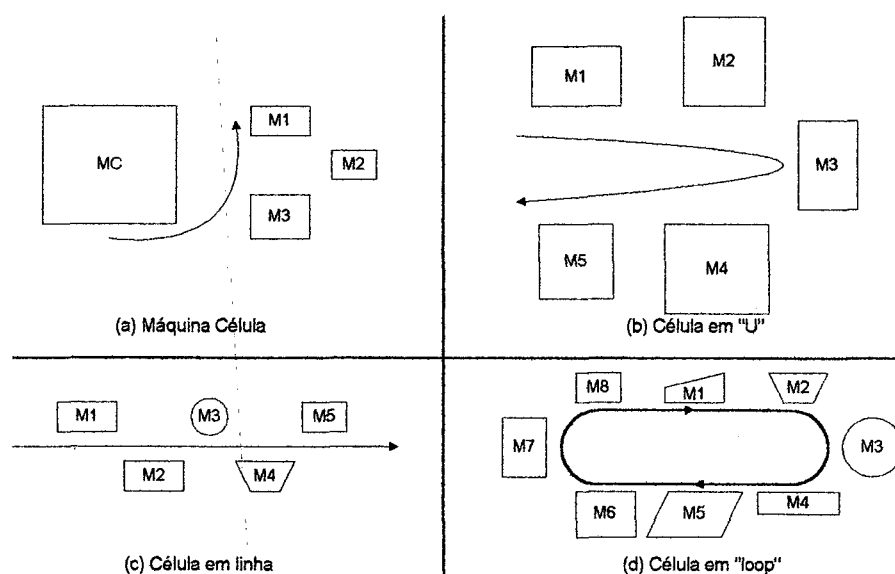


Figura 2.7 Representação esquemática dos diferentes tipos de células. [Silveira 94]

- a) **Máquina Célula:** é composta por uma única máquina com capacidade de produção elevada para ser colocada em um arranjo com outras máquinas, ou que foi dedicada para a produção de peças com fabricação simples, as quais se encontram completamente processadas após passarem por somente esta máquina;
- b) **Célula em “U”:** arranjo compreendido por diversas máquinas agrupadas de acordo com a seqüência de um determinado processo, posicionadas em formato de “U” a fim de permitir que os trabalhadores possam se deslocar dentro da área de trabalho para operar mais de uma máquina durante o ciclo de fabricação de uma dada peça, ou família de peças;
- c) **Célula em linha:** disposição para arranjo de máquinas interligadas por transporte automático de peças, onde as peças, todas com processamento semelhante passam por todas as máquinas do agrupamento;
- d) **Célula em “loop”:** disposição para arranjo de máquinas interligadas por transporte automático de peças, onde as peças, com algumas etapas de processo diferentes, não passam por todas as máquinas do agrupamento.

## 2.4 A Simulação Computacional

A simulação computacional é uma ferramenta que permite a criação de modelos que representam um sistema real, através de técnicas matemáticas, com a finalidade de permitir que se façam inferências sobre este sistema, sem alterá-lo na prática. Pegden [Pegden 90] define simulação como: “simulação é o processo de se projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para a sua operação”. Desta forma, a simulação deve ser pensada como uma metodologia experimental e aplicada onde se busca:

- descrever o comportamento dos sistemas;
- construir teorias ou hipóteses que considerem as observações efetuadas;
- usar o modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou em métodos empregados em sua operação.

Desta forma, o analista pode realizar estudos sobre um sistema, buscando resposta para questões do tipo “o que aconteceria se?”, sem que sejam feitas quaisquer alterações no sistema em estudo. Também é possível se estudar sistemas que sequer existem, de forma que os projetos não necessitem muitas alterações após a sua execução. Estas possibilidades de aplicação da simulação permitem que as empresas projetem exatamente os processos que necessitam, poupando desta forma muitos recursos financeiros. Rodrigues [Rodrigues 96] cita algumas empresas e as quantias poupadas por elas em função da utilização da simulação: Northern Research and Engineering Corp. (US\$ 750.000,00), Exxon (US\$ 1.400.000,00) e Draw Tite Inc. (US\$ 80.000,00).

No caso dos estudos relacionados a arranjo físico de empresas (layout) a simulação pode trazer enormes contribuições e, em função disso que será proposta a sua utilização no modelo para focalização da produção com células de manufatura.

### 2.4.1 Aplicações na Manufatura

A forte competição enfrentada pelas empresas neste momento de globalização na disputa dos mercados consumidores não permite que as empresas cometam muitos erros nos seus projetos de investimento.

Quando se trata de definições de arranjo físico (layout), projetos mal elaborados podem causar um aumento excessivo nos “lead times” de produção ou na compra de equipamentos desnecessários em detrimento dos necessários.

A simulação computacional permite que se investigue as questões mais importantes relacionadas a um sistema de produção, tais como: localização de máquinas gargalo, verificação da utilização de operários e máquinas, tamanho de “buffers”, dimensão de sistemas de transporte, dentre outros.

Dentro desse contexto consideramos fundamental o uso da simulação no tratamento destas questões e, por isso propomos o seu uso no modelo proposto para a focalização da produção com células de manufatura.

Segundo Pegden [Pegden 90] o planejamento, projeto, instalação e operação de sistemas de manufatura dependem de decisões relativas às três áreas seguintes, as quais podem ser melhor resolvidas com o uso da simulação:

- decisões de configuração “hard”: definição da capacidade do sistema pela seleção do número e tipo de máquinas a ser incluído, a configuração física do layout e as peças a serem processadas através do sistema;
- decisões de configuração “soft”: planejamento e seqüenciamento de peças, ferramentas e trabalhadores durante um período de tempo específico;
- controle em tempo real: controle do fluxo de trabalho dentro do sistema e resposta a contingências, tais como falha de ferramenta, quebra de máquina, etc.

Pegden constata que quando a simulação é usada como ferramenta de projeto, o estudo é motivado por questões como:

- qual será o “lead time” neste projeto? Ele atenderá aos nossos objetivos de produção?
- onde estão os gargalos? O que pode ser feito para se obter um aumento na produção?
- qual é a melhor alternativa de projeto entre diversas elaboradas? Como a performance do sistema varia em função do número e tipo de máquinas, número de trabalhadores,

tipos de automação (particularmente manuseio de materiais), estoques em processo, etc.?

- qual é a confiabilidade do sistema? Como as quebras afetam o sistema?

## **2.4.2 Os Passos para Realização de um Estudo Usando Simulação**

Para que o estudo de um problema, através do uso da simulação computacional, seja bem sucedido, Pegden [Pegden 90] apresenta alguns passos que devem ser seguidos pelos analistas:

1. Definição do problema: os objetivos do trabalho devem estar claramente definidos. Os analistas devem se perguntar porque estão estudando o problema e que questões devem considerar para obter uma boa solução;
2. Planejamento do projeto: deve-se ter certeza de que os recursos necessários para o projeto estarão disponíveis, tais como: pessoal, apoio gerencial e, recursos de “hardware” e “software”;
3. Definição do sistema: determinação dos limites e restrições a serem usadas na definição do sistema.(ou processo) e a observação de como o sistema trabalha;
4. Formulação conceitual do modelo: desenvolvimento de um modelo preliminar com o objetivo de definir os componentes, variáveis descritivas e interações (lógica) que constituem o sistema;
5. Projeto experimental preliminar: seleção das medidas de eficiência a serem utilizadas, os fatores a serem variados e os níveis de variação destes fatores;
6. Preparação dos dados de entrada: identificação e coleta dos dados necessários para a modelagem;
7. Tradução no modelo: formulação do modelo numa linguagem de simulação apropriada;
8. Verificação e validação: esta etapa consiste na confirmação de que o modelo opera da forma que o analista pretende e, que os dados de saída do modelo são representativos do sistema real;
9. Projeto experimental final: projeto de um experimento que produza a informação desejada e determine como as execuções para testes específicos no projeto experimental devem ser conduzidos;
10. Experimentação: execução da simulação para se gerar os dados desejados;
11. Análise e interpretação: realização de inferências nos dados gerados pela simulação;

12. Implementação e documentação: colocação dos resultados em uso, gravação dos dados e documentação do modelo e seu uso.

## **2.5 Trabalhos Desenvolvidos na Área**

Através da análise de artigos publicados recentemente a respeito dos assuntos abrangidos neste trabalho, pudemos encontrar pesquisas abordando aspectos bastante diversificados, os quais passaremos a apresentar nas seções seguintes deste capítulo.

### **2.5.1 Comparação Entre Layout Celular e Layout Funcional**

Shafer e Charnes [Shafer 91] montaram, utilizando simulação, modelos de sistemas de produção com layout celular e layout funcional, testados através da variação de uma série de fatores de operação, a fim de se avaliar as vantagens e desvantagens de cada sistema. Estes fatores foram os seguintes: (1) grau no qual ocorrem arranjos naturais de famílias; (2) número de operações necessárias ao processamento de peças; (3) tempos de processamento das peças em cada máquina e; (4) tamanho de lote. Para medir a performance do sistema foram utilizadas duas variáveis de resposta: o tempo médio gasto por um lote no sistema e o estoque médio em processo. Os autores concluíram que em todas as situações testadas os sistemas baseados em layout celular possuem vantagens significativas sobre os sistemas com layout funcional, em relação as variáveis de resposta avaliadas. Gupta e Leelaket [Gupta 93] realizaram um trabalho com o mesmo objetivo, o qual apresentou resultados semelhantes, como não poderia deixar de ser.

Boucher e Muckstadt [Boucher 84] apresentaram um estudo sobre as reduções nos custos de manufatura obtidas com a conversão do layout funcional para o layout celular. Segundo os autores, três fatores são os responsáveis principais pela redução dos custos de manufatura. Estes fatores são: (1) tempos de “setup” reduzidos em função da produção de famílias de peças; (2) tempos de atravessamento (“lead times”) reduzidos pela aproximação das máquinas no layout celular e redução dos tamanhos de lote viabilizada pela diminuição ou eliminação dos tempos de “setup” e; (3) redução das funções de suporte e de outros custos alocados, em função da eliminação de alguns controles ou da passagem de muitas funções de suporte para os trabalhadores nas células. Para medir estas vantagens em termos de redução de custos, foram analisados os seguintes itens: (1) ciclo de estoque do inventário; (2) estoque de segurança; (3) estoques em processo e; (4) custos alocados. Através de exemplos numéricos, os autores demonstram que a passagem do layout funcional para o layout celular possibilita reduções nos custos avaliados de até 66%.

### **2.5.2 Vantagens Proporcionadas pelo Layout Celular**

Ron Thorn [Thorn 96] apresenta como maiores vantagens obtidas pela focalização da produção com células de manufatura, as seguintes: ampliação da flexibilidade nos processos; facilidade para se isolar/resolver problemas; redução e controle de custos; redução de prazos ou aumento da produção; melhoria da qualidade; controle de estoques e



distribuição; controle das perdas; eliminação de refugos; facilidade para se perceber a falta de habilidades; facilidade para obtenção de soluções em engenharia de processo; focalização de novos critérios de projeto; introdução de novas tecnologias, processos ou equipamentos e mudança de práticas dos trabalhadores.

Através do relato sobre a implantação da focalização da produção com células de manufatura na empresa Steward Inc., Lavoiseur [Lavoiseur 95] apresenta dados práticos sobre as vantagens obtidas com o layout celular. Os passos seguidos para a montagem do layout foram os seguintes: (1) definição de cada uma das células e das máquinas necessárias; (2) definição de um cronograma para movimentação das máquinas; (3) movimentação das máquinas; e (4) início do treinamento sobre o trabalho nas células, dentro da filosofia JIT.

As vantagens proporcionadas por esta transformação no sistema de produção da Steward Inc., foram as seguintes: redução nos estoques em processo; redução nos estoques de produtos acabados; eliminação das bandejas para estoque de material no chão-de-fábrica; redução no "lead time" dos produtos; redução do atraso nas ordens; redução dos refugos; redução do trabalho direto e redução no espaço ocupado pela manufatura. Através da Tabela 2.1, pode-se ter uma idéia quanto a proporção destas melhorias.

Item	Layout Funcional	Layout Celular	Melhorias Obtidas
Estoques em processo	\$590.000,00	\$116.336,00	80% (redução de \$ 443.660)
Estoque de produtos acabados	\$880.000,00	\$353.167,00	60% (redução de \$237.000)
Bandejas para estoque	\$8.333,00 por mês	\$0	100%
"Lead Time"	14 dias	2 dias	86% (redução de 12 dias)
Atraso nas ordens	100	4	96% menos
Refugo	22%	14%	8%
Trabalho direto	198	145	27% (53 operários)
Espaço na manufatura	45.000 (ft. <sup>2</sup> )	20.000 (ft. <sup>2</sup> )	56% (25.000 ft. <sup>2</sup> )

Tabela 2.1 *Benefícios obtidos após dois meses de operação com layout celular na Steward Inc. [Lavoiseur 95]*

Lin [Lin 94] apresenta em seu trabalho a utilização da focalização da produção com células de manufatura na fabricação de uma peça do sistema de frenagem de aeronaves. Após a implantação das células a performance da empresa, com relação a fabricação desta peça, sofreu as seguintes alterações: melhoria da qualidade no processo a um nível de <1% de peças rejeitadas; redução de 75% no "lead time" de fabricação; redução de 83% nas operações de manufatura; aumento de 25% na produtividade; redução de 60% das ferramentas de corte; e redução de 95% na inspeção média.

Estes exemplos ilustram bem os ganhos que a focalização da produção com layout celular pode proporcionar às empresas que trabalham com produtos de fabricação repetitiva em lotes.

### 2.5.3 Trabalhos Sobre Tecnologia de Grupo

Há alguns trabalhos relacionados a utilização da tecnologia de grupo para a formação de células de manufatura. Nestes trabalhos, cada autor apresenta formulações para a solução dos problemas de agrupamento, basicamente utilizando alguma das técnicas apresentadas por Singh [Singh 93] na seção 2.3.3.2 deste trabalho.

Crama [Crama 96] utilizou a programação matemática para desenvolver um algoritmo capaz de diagonalizar matrizes objetivando a formação de grupos de máquinas que permite, através da utilização de funções objetivo, a consideração de algumas restrições à estes agrupamentos. As restrições que podem ser tratadas no modelo apresentado pelo autor são as seguintes: relações máquina-peça, máquina-máquina ou peça-peça; restrições quanto ao tamanho de célula; e restrições quanto ao número de células. Através de exemplos numéricos o autor demonstra a eficiência do algoritmo para o tratamento dos agrupamentos.

Chow [Chow 93] desenvolveu um modelo baseado em sistemas especialistas para a definição do agrupamento de máquinas que permite a consideração de três restrições práticas para o desenvolvimento de um layout celular. Estas restrições são: número máximo de máquinas por célula; restrições tecnológicas (máquinas com capacidade muito grande para serem agrupadas); e número total desejável de células de fabricação. Este sistema é chamado de KBS e foi programado utilizando-se Pascal. Em função dos testes realizados com este modelo o autor concluiu que para sistemas com um número de células maior ou igual a quatro os resultados são muito bons.

Cada uma destas técnicas para montagem dos grupos possui vantagens e desvantagens, as quais devem ser analisadas na hora de se decidir qual delas utilizar. No capítulo três é apresentada uma tabela comparativa entre as técnicas, que deve auxiliar na escolha do método mais adequado à uma determinada aplicação.

### 2.5.4 Problemas para Focalização da Produção

Dentre os trabalhos analisados, alguns enfocam os problemas encontrados para a focalização da produção com células de manufatura. Heragu [Heragu 94] comenta em seu trabalho que na maioria das pesquisas apresentadas, ocorre somente uma preocupação em se obter uma matriz diagonalizada com uma sugestão de agrupamento celular. No seu artigo, apresenta uma série de questões que podem afetar a focalização da produção. Tais questões são as seguintes:

- a capacidade disponível de máquina não pode ser excedida;
- requisitos tecnológicos e de segurança devem ser considerados;
- o número de máquinas em uma célula e o número de células não deve exceder um limite superior;

- a taxa de utilização de máquina deve ser tão alta quanto possível;
- a compra de máquinas, os custos operacionais e os custos com estoques em processo devem ser minimizados.

Além das questões de projeto de layout, o autor apresenta duas questões de planejamento que devem ser tratadas. Estas questões são:

- o seqüenciamento de trabalhos para cada célula individualmente;
- a maximização das taxas de saída.

Choi [Choi 92] apresenta a necessidade de considerações com relação aos seguintes problemas: limitações dos métodos para formação de células existentes; necessidade de capacidade de máquina para realizar os agrupamentos; critérios para a seleção adequada de máquinas novas a serem adquiridas; cuidado com máquinas e processos com restrições especiais e flexibilidade para alterações futuras nos agrupamentos em função de alterações de demanda ou produtos. No segundo trabalho consultado deste autor [Choi 96] são acrescentadas as seguintes restrições aos agrupamentos para focalização da produção: restrições organizacionais (1. Recursos financeiros para compra de novas máquinas, 2. Taxa de utilização mínima de máquina e 3. Retorno sobre o investimento); características de produto (1. Variedade de produtos, 2. Número de novos produtos introduzidos anualmente); características dos roteiros de processo (1. Variedade de operações, 2. Presença de operações gargalo e 3. Presença de operações especiais); e características das instalações/tecnologia de processo (1. Máquinas simples convencionais, 2. Máquinas complexas programáveis).

Podemos acrescentar à estes problemas para a definição do layout celular, os considerados por Arvindh [Arvindh 94] em seu artigo. Tais pontos são: critérios bem definidos para a duplicação de máquina, definição adequada do layout intracelular e definição adequada do layout intercelular.

### **2.5.5 O PCP e a Focalização da Produção**

A fim de analisar as mudanças ocorridas na área de planejamento e controle da produção (PCP) nas empresas que adotaram a produção focalizada com células de manufatura, Olorunniwo [Olorunniwo 96] fez uma pesquisa, através do envio de questionários, com 57 empresas americanas que optaram por esta forma de produção. O primeiro ponto levantado na pesquisa foi que técnica de PCP a empresa estava utilizando antes e depois da focalização da produção. As técnicas mais importantes citadas foram: ponto de pedido (ROP); planejamento dos recursos de manufatura (MRP); "kanban" (KAN); tecnologia para otimização da produção (OPT). É importante se ressaltar que cada empresa poderia citar o uso simultâneo da mais de uma técnica. A tabulação destes dados está representada na Figura 2.8.

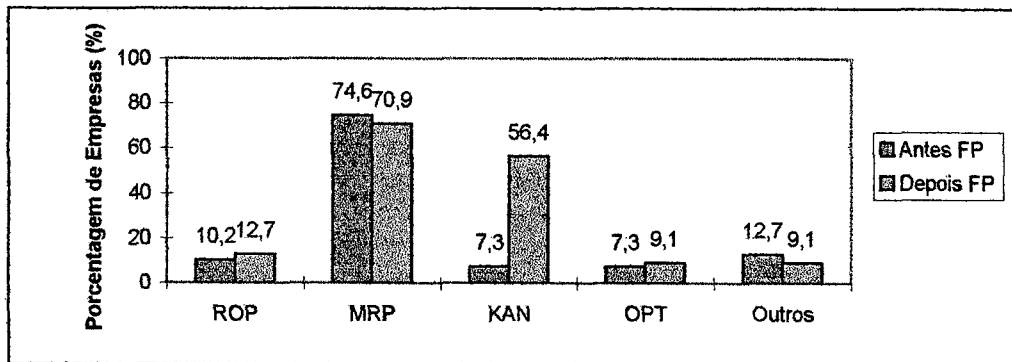


Figura 2.8 *Porcentagem de empresas utilizando técnicas de PCP antes e depois da focalização da produção.* [Olorunniwo 96]

A tendência observada pelo autor após a focalização da produção foi a utilização preponderante do MRP e do “kanban” nas empresas, inclusive de forma conjunta. Na Figura 2.9 estão representados os percentuais relativos a utilização destas duas técnicas pelas empresas.

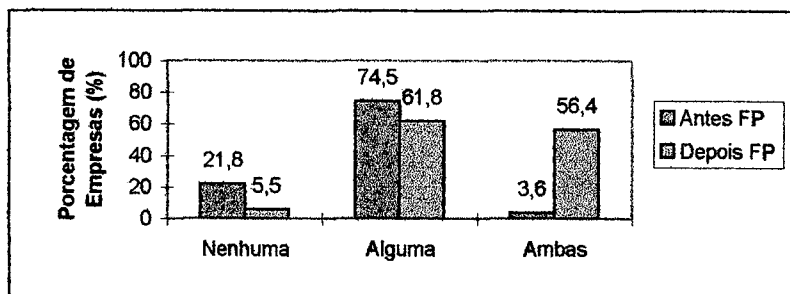


Figura 2.9 *Utilização do “kanban” e MRP pelas empresas, antes e depois da focalização da produção.* [Olorunniwo 96]

Olorunniwo [Olorunniwo 96] concluiu que após a focalização da produção a tendência das empresas foi de acrescentar o “kanban” aos seus sistemas de MRP existentes. O autor acredita que os dois sistemas podem se complementar, pois o MRP possui a capacidade de permitir o planejamento de necessidades (materiais e capacidade de produção) para empresas com uma grande quantidade de produtos, sendo deficiente no controle e execução no chão-de-fábrica. O “kanban” por outro lado, permite um controle descentralizado da produção de itens repetitivos em lote, mas não possui capacidade no planejamento de materiais. Desta forma, a combinação MRP/“kanban” pode oferecer bons resultados no planejamento e controle da produção (PCP).

Song e Hitomi [Song 96] desenvolveram um “software” para auxiliar a focalização da produção com células de manufatura de forma integrada ao planejamento da produção, em um horizonte de planejamento determinado. Os problemas a serem resolvidos pelo programa são: (1) a quantidade de produção para cada item e; (2) o ajuste do layout celular para um horizonte de planejamento finito, com situação de demanda dinâmica. A solução para este problema está baseada na redução dos custos com inventário, redução dos custos de “setup” via agrupamento, redução dos custos de movimentação de materiais e redução dos custos de ajuste de layout, os quais estão sujeitos aos requisitos de demanda e as

restrições de capacidade. A decomposição de Benders é empregada na integração dos dois problemas a serem resolvidos e, o sistema resultante desta integração é resolvido com a utilização de técnicas de programação linear. Os autores apresentam um exemplo numérico que demonstra a eficiência do sistema proposto.

### 2.5.6 Trabalhos Utilizando Simulação

A simulação, como já foi dito na seção 2.4, é uma ferramenta que permite a análise de uma série de questões, sem que haja a necessidade da criação de sistemas reais. Em função disso, tem sido cada vez mais utilizada na investigação das questões relativas aos sistemas de produção.

Segundo Dvorak [Dvorak 95] a simulação de fábrica permite aos engenheiros de manufatura a identificação de pontos fracos em uma linha de produção ou descuidos nos planos de produção. A partir daí, auxilia os gerentes de fábrica na antecipação de soluções para vários problemas potenciais. Estes problemas podem ser perdas de produção em uma máquina chave, em função do afastamento de um operador por uma semana, ou um atraso na chegada de matérias-primas. O autor afirma ainda que através da elaboração de modelos com um nível suficiente de detalhes é possível a identificação de efeitos combinados não usuais na produção e, a definição de planos alternativos para a solução destes problemas.

Sengupta e Combes [Sengupta 95] reportam em seu artigo a utilização da simulação computacional na Kraft General Foods, para auxiliar no dimensionamento da quantidade de linhas de produção novas que deveriam ser adquiridas pela empresa, com o objetivo de substituir linhas antigas na sua planta no Meio Oeste americano. O principal problema a ser resolvido pela equipe envolvida no projeto era a definição do número ótimo de novas linhas, a fim de garantir os níveis de capacidade atuais, com uma certa folga para atender um provável crescimento futuro. O maior problema para a elaboração do modelo de simulação foi, em função destas linhas possuírem tecnologia realmente nova, a não existência de dados históricos sobre a sua performance de operação.

O modelo foi codificado em linguagem para programação matemática (AMPL) e resolvido com a utilização de CPLEX 3.0 em um micro 486/33MHz HP Vectra. O tempo para cada solução variou de 2 a 6 minutos. Os resultados obtidos foram os seguintes:

- para 6 linhas o tempo de utilização seria de 9%;
- para 5 linhas o tempo de utilização seria de 23%;
- para 3 ou 4 linhas o tempo de utilização seria de 68%.

A decisão final dos gerentes foi para a compra de 6 novas linhas de produção, em função da necessidade de flexibilidade para crescimento futuro. A animação dos fluxos produtivos sobre o novo layout, criada no “software” Taylor II, além de ter permitido a clara visualização dos processos, foi utilizada no treinamento dos supervisores de produção.

Baxter e Johnson desenvolveram um modelo de simulação para estudar a compra de novos equipamentos e alterações de layout para a divisão de Spokane da Hewlett-Packard (HP). Após a execução deste modelo os autores analisam em seu artigo [Baxter 93] a importância da validação de um modelo de simulação, para que a ferramenta realmente ofereça resultados confiáveis. Os autores comentam que no desenvolvimento dos seus modelos somente 20% do tempo gasto no estudo se refere a construção e codificação do mesmo, sendo o restante consumido na coleta de dados e na validação do modelo.

Segundo os autores, o acompanhamento da animação por pessoas familiarizadas com o processo de produção da empresa deve ser considerado como um passo importante na validação do modelo. Além disso, os dados de entrada do modelo devem ser revisados para que sejam representativos da realidade. As médias, que não permitem o tratamento estatístico dos valores devem ser evitadas. Os dados de saída do modelo também devem ser checados com atenção, para se observar se nenhuma inconsistência ocorre. Desta forma, pode-se ter certeza da validade dos dados obtidos com esta poderosa ferramenta de auxílio para tomada de decisão.

Loureiro [Loureiro 95] desenvolveu, utilizando sistemas difusos, algoritmos genéticos e simulação computacional, um sistema gerador de “scheduling”, com o objetivo de otimizar o planejamento de produção no chão-de-fábrica. Danni [Danni 97] apresentou em seu trabalho um modelo para ajuste do sistema “kanban” auxiliado pela simulação computacional. Estes trabalhos foram desenvolvidos através do Laboratório de Simulação de Sistemas de Produção da UFSC.

Os trabalhos de Shafer e Charnes [Shafer 91] e Boucher e Muckstadt [Boucher 84] apresentados na seção 2.5.1 utilizaram a simulação computacional para comparar o layout celular com o layout funcional. Na seção 2.2.1 está apresentado o trabalho de Bischak [Bischak 95], que mostrou através da simulação computacional as vantagens dos operários móveis polivalentes sobre os operários estáticos nos sistemas convencionais.

Todos estes trabalhos demonstram a flexibilidade da ferramenta simulação computacional no tratamento de diversas questões dos sistemas de produção, justificando o seu emprego no modelo a ser proposto no capítulo 3, para a focalização da produção. Este modelo será estruturado passo a passo, partindo da análise do sistema de produção a ser considerado, passando pelas questões de tratamento prático para montagem de layout e chegando até o gerenciamento deste sistema, com produção focalizada. O modelo será desenvolvido em função da relevância do assunto e, de não ter sido encontrado nenhuma proposta semelhante nos trabalhos analisados, os quais se mostraram restritos a análise de questões pontuais em relação a produção focalizada.

## *Capítulo 3*

# **Modelo Para Focalização da Produção**

### **3.1 Introdução**

Conforme constatado através da análise dos trabalhos apresentados no capítulo anterior, o layout celular possui diversas vantagens sobre o layout funcional nos sistemas com produção repetitiva em lote. Em função disso, propõe-se neste capítulo uma metodologia para focalização da produção com layout celular, assumindo-se que este seja o melhor layout a ser utilizado.

Pela flexibilidade oferecida pela simulação computacional na análise de fatores que influenciam os sistemas de produção, também expressa nos trabalhos descritos no capítulo 2, é proposto o seu uso no modelo para a definição de alguns parâmetros que afetam a focalização da produção.

Na Figura 3.1 está apresentado o fluxograma esquemático com os passos a serem seguidos durante a implantação da metodologia proposta.

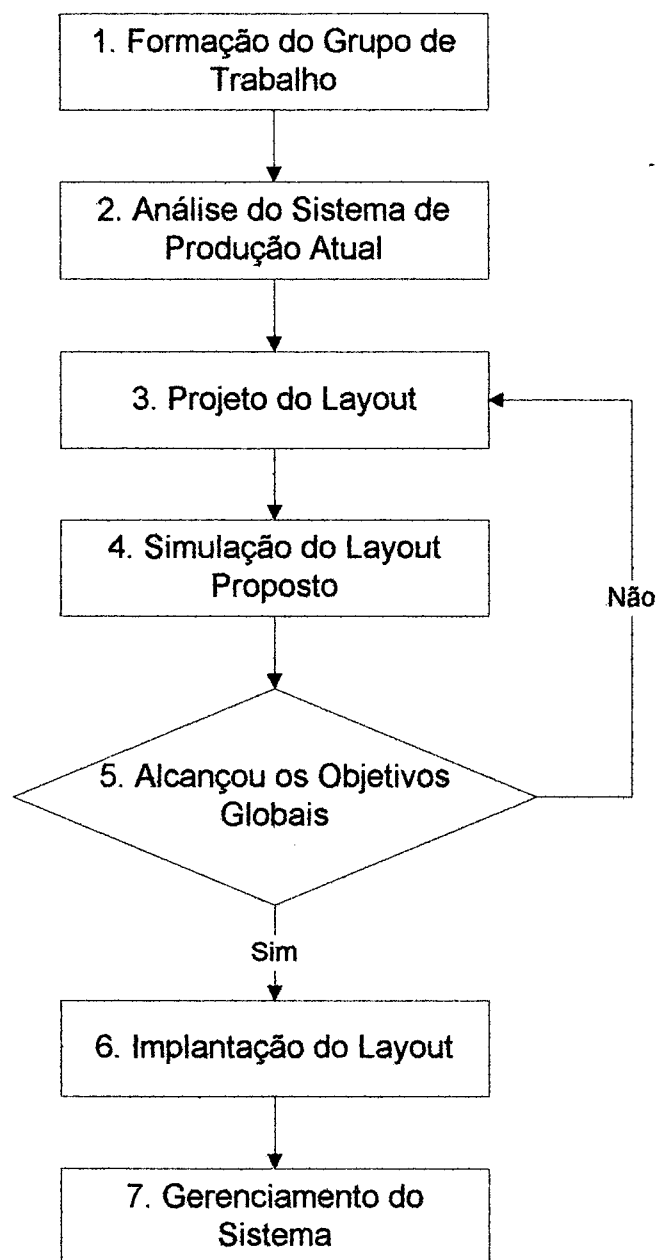


Figura 3.1 Fluxograma esquemático da metodologia proposta.

Este modelo define a utilização de indicadores de desempenho da produção JIT para a verificação dos objetivos propostos, quanto ao layout segue o sistema apresentado por Muther [Muther 78], até o momento que introduz a utilização da Tecnologia de Grupo para a formação de células de manufatura. Para a definição de alguns parâmetros do sistema de produção e, cálculo dos indicadores de desempenho antes das alterações no sistema define a simulação computacional como ferramenta. Nas próximas seções serão detalhadas cada uma das etapas propostas no modelo.



## **3.2 Formação do Grupo de Trabalho**

Esta etapa do trabalho deve ser coordenada por uma consultoria externa à empresa, pois novos conceitos devem ser trazidos a respeito da focalização da produção com células de manufatura, os quais não devem existir na empresa, pois do contrário ela já estaria com o seu sistema focalizado. Além disso, todo processo de alteração no modo de trabalho de uma empresa costuma gerar uma série de resistências, as quais serão mais facilmente quebradas com o auxílio de pessoas que trazem experiência de implantação e solidez de conhecimentos a respeito dos benefícios proporcionados pela focalização da produção.

Esta etapa é composta por outros quatro itens, que são: escolha do grupo; conscientização; definição dos objetivos e; definição das medidas de desempenho. A seguir, vamos apresentar cada um destes itens.

### **3.2.1 Escolha do Grupo**

A escolha adequada do grupo que vai coordenar o processo de focalização da produção é fundamental para o sucesso do projeto. A presença dos diretores da empresa no grupo é muito importante, pois se o processo não tiver o apoio das pessoas que detêm a autoridade maior na empresa, o fracasso será iminente. Além dos diretores, os gerentes que terão participação mais direta nas ações de transformação do sistema de produção e na disseminação do conhecimento a respeito da focalização da produção no chão-de-fábrica, devem estar no grupo.

Esse grupo de coordenação tem que ter como meta principal a conquista do envolvimento total dos demais trabalhadores no andamento do trabalho, pois para a obtenção de sucesso em cada uma das etapas propostas é fundamental a participação de todos os funcionários da empresa. Se não houver esta participação o tempo para a focalização da produção com células de manufatura pode ser aumentado bastante. Além disso, o modo de trabalho dentro da produção JIT é bastante diferente da proposta feita por Taylor [Taylor 90], onde os setores da empresa são divididos e conduzidos por especialistas, sem a busca da interação entre as pessoas com diferentes funções.

### **3.2.2 Conscientização**

Nesta etapa os consultores devem passar ao grupo de coordenação do trabalho o conhecimento teórico a respeito da produção JIT e da focalização da produção. Além disso, devem ser enfatizados os ganhos de competitividade que podem ser obtidos pelas empresas que passam a trabalhar de forma focalizada. Visitas à empresas que já adotaram a produção JIT são importantes no sentido da identificação das ferramentas empregadas e dos ganhos obtidos.

Neste momento cada passo do modelo para focalização da produção deve ser explicado, seguido da montagem de um cronograma para o desenvolvimento das ações previstas neste modelo.

### 3.2.3 Definição dos Objetivos

Cada empresa ao optar por utilizar a focalização da produção com células de manufatura deve definir os objetivos que espera alcançar através da aplicação desta ferramenta de engenharia de produção. Existem alguns objetivos que são padrão para todas as empresas que empregam a focalização da produção, por fazerem parte dos princípios que nortearam o desenvolvimento dessa ferramenta. Além destes, cada empresa em particular deve definir seus objetivos específicos.

No momento em que esses objetivos são compartilhados com os demais colaboradores, todos passam a saber que resultados são esperados e têm claro o caminho a percorrer em busca da implantação de um sistema eficiente, com produção focalizada.

Em sua pesquisa com 46 plantas potenciais usuárias da focalização da produção, Wemmerlöv [Wemmerlöv 97] tabulou as principais razões que levam as empresas a introduzir a focalização da produção com células de manufatura nos seus sistemas de produção. Estes dados estão apresentados na Tabela 3.1.

Posição	Razão	Nota
(1)	Reduzir o tempo de atravessamento	4.51
(2)	Reduzir o estoque em processo	4.33
(3)	Melhorar a qualidade peça/produto	4.22
(4)	Reduzir o tempo de resposta aos pedidos dos clientes	4.22
(5)	Reduzir as distâncias/tempos de movimentação	4.14
(6)	Melhorar a flexibilidade da manufatura	3.81
(7)	Reduzir os custos unitários	3.80
(8)	Simplificar as funções de PCP	3.62
(9)	Facilitar o envolvimento dos empregados	3.57
(10)	Reduzir os tempos de setup	3.43
(11)	Reduzir os estoques de produtos prontos	3.41

Observação: O item nota varia em uma escala de 1 a 5 (1 = não importante, 5 = muito importante), atribuída pelas empresas a cada um dos fatores avaliados.

Tabela 3.1 Razões para o estabelecimento da focalização da produção. [Wemmerlöv 97]

Nesta pesquisa, as empresas também apresentaram os seus objetivos particulares com relação a implantação da focalização da produção com células de manufatura. Estes objetivos foram os seguintes:

- redução do espaço para manufatura;

- melhor utilização da força de trabalho;
- redução dos problemas gerências;
- melhoria da organização na área de manufatura;
- aumento da satisfação dos empregados.

Esta pesquisa apresenta uma idéia clara dos fatores que podem ser melhorados através da utilização da focalização da produção com células de manufatura.

### 3.2.4 Definição das Medidas de Desempenho

Neste modelo as medidas de desempenho que serão propostas foram apresentadas por Danni e Tubino [Danni 96] para avaliação operacional no ambiente JIT. A seguir vamos apresentar cada uma das sete medidas de desempenho desenvolvidas:

1. Volume de produção: tem como objetivo medir a quantidade de produtos fabricados num determinado período. Nesta medida de desempenho os produtos fabricados e armazenados devem pesar negativamente, pois dentro da produção puxada somente deve se produzir o que for “vendido” (interna e externamente). Esta medida de desempenho é calculada da seguinte maneira:

$MD1 = \text{quantidade produzida} / \text{quantidade vendida}$ , onde:

- quantidade produzida = quantidade de produtos fabricados no período;
- quantidade vendida = quantidade de produtos solicitada pelo cliente.

2. Tempo de passagem: tempo que leva desde a solicitação de um determinado item até que ele é entregue ao cliente. Este tempo é conhecido também por “lead time”. A medida de desempenho é calculada da seguinte maneira:

$MD2 = \text{data da entrega} - \text{data do pedido}$ , onde:

- data da entrega = data em que o pedido foi entregue ao cliente;
- data do pedido = data em que o cliente solicitou o pedido.

3. Estoque em processo (WIP): quantidade de estoque em processo para o atendimento de uma determinada demanda. Quanto mais eficiente e sincronizado o sistema produtivo, menor a necessidade de estoques em processo. Esta medida de desempenho pode ser medida em unidades físicas ou valores monetários, de acordo com a expressão:

$MD3 = \text{quantidade de estoque em processo}$

4. Taxa de utilização das máquinas: esta medida de desempenho analisada isoladamente pode induzir a produção excessiva de estoques em sistemas desbalanceados ou a aquisição de equipamentos automatizados de alta velocidade e inflexíveis, no caso de análise de eficiência pontual. Do ponto de vista da produção JIT esta medida é importante quando avalia sistemas de uma forma global. Esta medida de desempenho deve ser calculada da seguinte maneira:

MD4 = tempo produtivo da máquina/tempo disponível da máquina, onde:

- tempo produtivo da máquina = tempo total de operação da máquina;
- tempo disponível da máquina = tempo total de disponibilidade da máquina.

5. Taxa de utilização da mão-de-obra: o modo convencional de avaliação da mão-de-obra opera da mesma forma como avalia a utilização das máquinas. Na produção JIT se espera um envolvimento maior dos trabalhadores e o modo de avaliação passa a ser sobre os resultados obtidos pelo grupo como um todo, para se alcançar uma dada produção. O cálculo desta medida de desempenho é feito de acordo com a seguinte expressão:

MD5 = horas totais trabalhadas/produção do período, onde:

- horas totais trabalhadas = total de horas despendido pela equipe de trabalho;
- produção do período = total de produtos fabricados pela equipe de trabalho.

6. Taxa de utilização do espaço físico: esta medida de desempenho vai avaliar a produtividade de uma empresa em relação ao espaço físico utilizado. Com a empresa operando dentro da produção JIT, onde as áreas de estocagem, corredores, espaços entre máquinas e tamanho de lotes são bastante reduzidos, esta medida deve se tornar muito mais favorável. A taxa de utilização do espaço físico pode ser calculada pela expressão:

MD6 = espaço físico utilizado/produção do período, onde:

- espaço físico utilizado = total de área empregada na produção;
- produção do período = total de produtos fabricados pela equipe de trabalho.

7. Margem de segurança: a margem de segurança indica o quanto as vendas podem ser reduzidas mantendo-se lucro na empresa. Este indicador depende da flexibilidade dos recursos produtivos de uma empresa. Com operários polivalentes, equipamentos e instalações passíveis de mudança nos volumes e tipos de produtos fabricados a empresa passa a ter uma maior flexibilidade econômica em relação a demanda. Quanto maior for a margem de segurança, maior será a flexibilidade da empresa em absorver variações na demanda. Calculamos este indicador através da fórmula abaixo:

$MD7 = \text{volume máximo de produção/volume mínimo de produção.}$

Através do cálculo destas medidas de desempenho, pode-se ter uma visão bem clara sobre o posicionamento de um sistema produtivo em relação a produção JIT, que deve ser a meta maior nos processos repetitivos em lote.

### **3.3 Análise do Sistema de Produção Atual**

Este é o momento no qual as pessoas envolvidas no projeto do novo arranjo físico devem buscar entender o sistema de produção utilizado na empresa para determinar que problemas devem ser colocados como prioridades a serem resolvidos no novo sistema a ser desenvolvido. Para isto é importante que se verifiquem os estoques na fábrica (estoques em processo, produtos acabados, matérias-primas, etc), posicionamento das máquinas e dos operadores, forma de trabalho dos operadores, além da análise dos dados quantitativos que darão suporte ao dimensionamento do novo sistema de produção focalizado.

Para se efetivar esta análise do sistema de produção atual, propõe-se três etapas de trabalho a serem cumpridas. Estas etapas são: obtenção de dados; análise do ambiente de produção e; cálculo das medidas de desempenho. Nos itens seguintes estas etapas serão descritas detalhadamente.

#### **3.3.1 Obtenção de Dados**

Segundo Muther [Muther 78], os problemas de arranjo físico estão relacionados a dois elementos básicos: produtos (ou material, ou serviço) e quantidades (quanto de cada item deve ser produzido). Isto se deve ao fato de que as instalações físicas de uma fábrica são organizadas com a finalidade de permitir a produção de alguns tipos determinados de produtos em uma certa quantidade e, da melhor forma possível (menor custo, maior qualidade, etc.). Abaixo, apresentamos cada um dos elementos importantes na análise de um sistema de produção:

1. Disposição do layout atual: o desenho e análise do layout atual é fundamental, pois permite que se tenha uma visão global de todos os processos utilizados pela empresa. Através do desenho do fluxo de fabricação dos produtos é possível se visualizar as perdas que ocorrem no sistema em função da movimentação das peças entre os recursos ou máquinas. Além disso, pode-se visualizar a complexidade do sistema produtivo e utilizar esta descrição de fluxo sobre o layout como ferramenta para se sensibilizar o grupo envolvido no projeto a respeito da necessidade de melhorias. É importante que sejam representadas todas as máquinas utilizadas na empresa, assim como a elaboração de uma tabela que relacione o nome e as dimensões de cada máquina. Deve-se observar ainda o tipo de resíduos produzidos pelas máquinas durante a sua utilização, em função da legislação de segurança no trabalho, verificando possíveis restrições para o agrupamento celular e a facilidade de movimentação das máquinas, fator também

restritivo de agrupamento. É importante também se observar as restrições físicas impostas por paredes, portas e colunas a montagem do layout.

2. Árvores de produto: as árvores de produto relacionam todas as peças e insumos utilizados na confecção de um produto. Estas relações devem ser representadas de forma hierárquica, sendo elaboradas à partir dos produtos finais, subconjuntos, peças e finalmente matéria-prima. Pela análise das árvores de produto se verifica a estruturação completa de um produto, o que é fundamental para a elaboração dos roteiros de fabricação. A construção de uma árvore de produto, desde que se entenda a hierarquização dos processos, não apresenta maiores dificuldades. A utilização de um sistema de codificação adequado à montagem de um sistema que explore a semelhança das peças facilita a construção da árvore e, a implantação de sistemas de planejamento de materiais do tipo MRP. Na Figura 3.2 está representada uma árvore de produto para a fabricação de uma bicicleta.

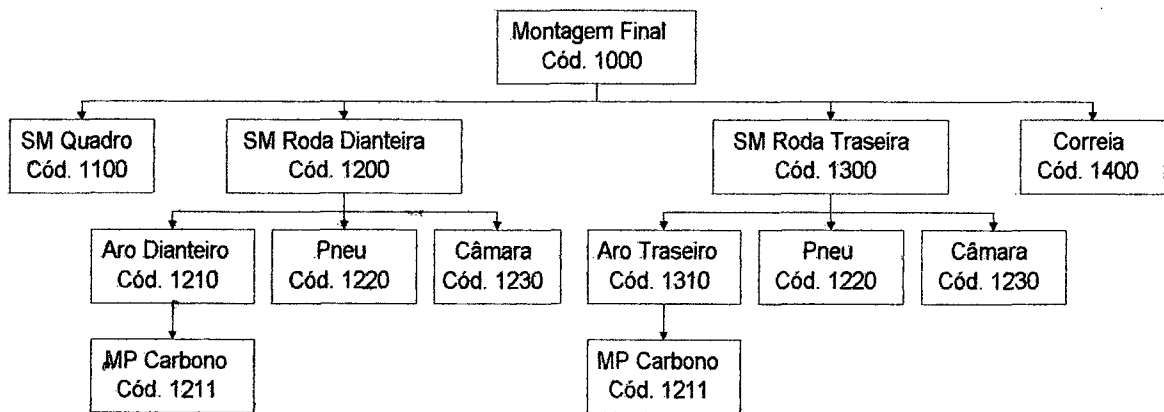


Figura 3.2 Representação de uma árvore de produto para fabricação de uma bicicleta. [Tubino 97]

3. Quantidades produzidas: a análise das quantidades produzidas mensalmente permite que se faça uma projeção em relação a produção e demanda, com a finalidade de ajustar o sistema de produção para atender da melhor forma possível o mercado consumidor da

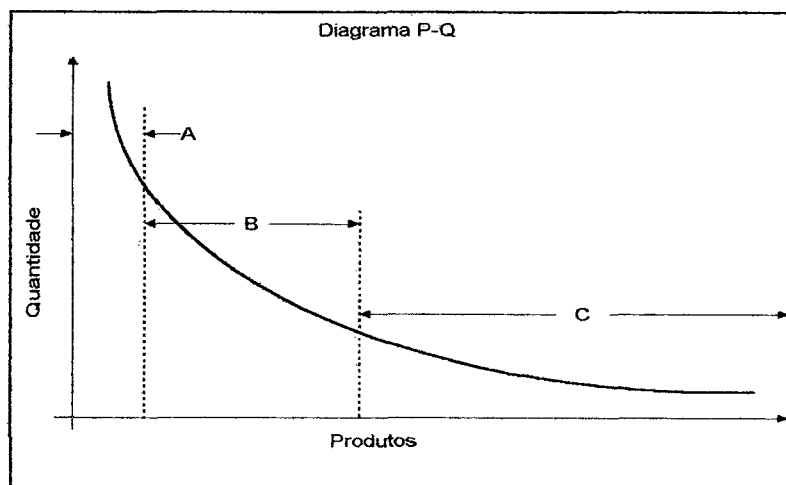


Figura 3.3 Representação de um diagrama P-Q. [Muther 78]

empresa. A partir desta análise e projeção de necessidades de produção, utilizamos os dados sobre quantidades produzidas para a definição dos tamanhos de lotes de peças a serem produzidos pela empresa. Através destes dados é feito o cálculo dos tempos de ciclo das peças. Os dados referentes as quantidades produzidas permitem também a determinação dos produtos mais importantes do ponto de vista da produção, através de uma análise abc em um gráfico de Pareto. Os produtos principais terão o ajuste do seu fluxo de produção priorizado na definição do layout. Na Figura 3.3 está representado um diagrama P-Q, utilizado nesta definição de prioridades.

4. Roteiros de fabricação: o roteiro compreende um processo, suas operações, equipamentos e seqüência de trabalho. Através dos roteiros ficam definidas as máquinas que devem ser utilizadas no processo de transformação da matéria-prima e as necessidades de transporte entre as operações de um processo. Além disso, os roteiros de fabricação são fundamentais para a montagem das células através da utilização da tecnologia de grupo, portanto é importante que sejam documentados de forma confiável. Os roteiros também servem como guias ao processo de cronometragem das operações.
5. Tempos das operações: os tempos de processamento das peças são de grande importância e utilizados com diversas finalidades nas empresas. Através dos tempos de produção são definidas as quantidades de máquinas necessárias ao processo, o que leva a definição de quanto espaço é necessário, mão-de-obra e ao balanceamento das operações. Nos sistemas de custeio são básicos para a determinação dos custos de fabricação. Na metodologia proposta são dados de entrada para a simulação computacional e devem ser os mais confiáveis possíveis, de modo que a simulação realmente seja uma reprodução da realidade do sistema produtivo modelado. Os tempos de “setup” também são importantes e devem ser considerados e coletados com o mesmo cuidado dedicado aos tempos de processamento, pois terão interferência direta na definição dos tamanhos de lote, na definição das necessidades de máquinas e nos “lead times”.

Através da análise destes itens, deve ser definido o modelo de arranjo físico que melhor se encaixa ao tipo de bens produzidos pela empresa. O modelo para elaboração de arranjo celular proposto neste trabalho é adequado para os processos repetitivos em lote, segundo classificação proposta por Tubino [Tubino 97].

### 3.3.2 O Ambiente de Produção

É extremamente importante que durante o processo de análise do sistema de produção da empresa seja dedicada atenção especial a questões relativas ao ambiente de produção, pois a ocorrência de qualquer problema em questões relativas a este item podem prejudicar bastante o processo de focalização da produção com células de manufatura, ou a implantação de qualquer outra técnica de engenharia de produção. Os seguintes pontos devem ser analisados:

- motivação dos trabalhadores: deve ser identificado o grau de motivação dos operários em relação a proposta de modificações no sistema de produção da empresa. A obtenção

desta indicação não é difícil de ser alcançada, pois em uma simples conversa informal com os funcionários é possível identificar o seu nível de satisfação com relação a remuneração, satisfação na realização das tarefas, relacionamento entre colegas e, satisfação com relação ao sistema de gerenciamento da empresa. É importante se obter dados a respeito do resultado de tentativas anteriores de modificação ou implantação de alguma outra técnica de engenharia de produção na empresa. Com um índice de motivação baixo por parte dos funcionários a implantação das alterações no sistema de trabalho da empresa pode se tornar bastante penosa, ou até mesmo impossível de ser realizada;

- grau de instrução dos trabalhadores: este é um indicador necessário para o dimensionamento da necessidade e forma de como vai se ministrar o treinamento relativo a focalização da produção com células de manufatura para a força de trabalho. Quanto menor for o grau de instrução, mais detalhado e demorado será o período de treinamento dos funcionários. É importante se frisar neste momento que com a evolução dos equipamentos e dos métodos de trabalho nas empresas o aumento do nível de escolaridade dos funcionários deve ser considerado um ponto estratégico para a sua sobrevivência;
- nível de participação da alta gerência: qualquer modificação no sistema de produção de uma empresa pode ser considerada impossível quando não há participação decidida da alta gerência. Portanto, é fundamental se ter uma noção clara do nível de envolvimento da gerência no processo. Infelizmente, ao contrario do que acontece com os funcionários, a percepção do nível de satisfação da gerência com o processo de mudanças somente é percebido ao longo do tempo, de forma lenta.

### **3.3.3 Cálculo das Medidas de Desempenho Atuais**

À partir dos dados coletados a respeito do sistema de produção da empresa (apresentados na seção 3.3.1) devem ser calculadas as medidas de desempenho, conforme definido na seção 3.2.4.

As medidas de desempenho servem para se fazer uma medição da distância entre as metas planejadas por uma determinada empresa e os resultados efetivos alcançados. Dentro de um sistema de gerenciamento como o proposto no TQC (Controle da Qualidade Total), os resultados desta medição vão indicar os pontos que devem ser tratados para uma melhoria de performance.

### **3.4 Projeto do Layout**

Nesta seção serão apresentados os passos que devem ser seguidos para se projetar um layout focalizado com células de manufatura, as quais serão montadas à partir da utilização da tecnologia de grupo. Estes passos são: aplicação da tecnologia de grupo; análise das restrições aos agrupamentos e; projeto de layout focalizado.



### 3.4.1 Aplicação da Tecnologia de Grupo

O primeiro passo a ser tomado para a aplicação da tecnologia de grupo é a reunião de todos os dados de entrada necessários para este fim. Estes dados dependem do tipo de técnica que vai ser utilizada para se fazer a formação das células (na seção 2.3.3 estão descritas algumas técnicas de tecnologia de grupo). A escolha da técnica vai depender da acuracidade necessária para os dados relativos aos agrupamentos e da disponibilidade na empresa de pessoal com conhecimento suficiente de tecnologia de grupo, além de recursos computacionais compatíveis com as necessidades previstas para o bom funcionamento do software escolhido, quando for o caso. Segundo Silveira [Silveira 94], na montagem de grupos para sistemas FMS devem ser utilizadas técnicas que proporcionem resultados bem precisos, pois os erros de avaliação na elaboração de sistemas deste nível costumam ser bastante significativos financeiramente. Silveira [Silveira 94] apresenta também uma tabela com as características de alguns métodos, visando facilitar a opção por algum deles. Este guia está representado na Tabela 3.2.

Parâmetro	Método	Análise Visual	Classificação Codificação	Coefficiente de Similaridade	Arranjo de Matrizes	Programação Matemática
Diversidade	Baixa	X		X		X
	Alta		X		X	
Acuracidade	Baixa	X				
	Alta		X	X	X	X
Agrupamento Desejado	Peças	X	X	X		X
	Máquinas			X		X
	Simultâneo				X	X
Custo	Baixo	X		X	X	
	Alto		X			X
Eficiência	Baixa	X				
	Alta		X	X	X	X
Decisão Pessoal	Baixa		X			X
	Média			X	X	
	Alta	X				
Computação	Desnecessária	X				
	Necessária		X	X	X	X

Tabela 3.2 *Comparação entre as características de alguns métodos de agrupamento. [Silveira 94]*

A dificuldade para obtenção dos dados de entrada varia com o nível de organização da empresa. Nas empresas mais desenvolvidas, os dados relativos a roteiros de fabricação e tempos de processo se encontram armazenados em sistemas computacionais através do uso de softwares do tipo CAPP (Computer Aided Process Plan). Em empresas menos desenvolvidas estes dados nem sequer estão documentados, de forma que os operários executam os processos sem padronização e, neste caso, torna-se um trabalho bastante extenso a aplicação da tecnologia de grupo.

No estudo de caso apresentado no capítulo 4 desta dissertação a técnica de tecnologia de grupo utilizada foi a análise da matriz peça/máquina. Neste caso os agrupamentos são definidos pela diagonalização de uma matriz de incidência, construída a partir dos roteiros de fabricação. O processo é bastante simples e proporciona bons resultados. A Figura 2.6 ilustra a aplicação desta técnica.

Após a aplicação da técnica selecionada, deve-se realizar uma verificação nas restrições que porventura possam ocorrer, inviabilizando ou dificultando a montagem dos agrupamentos sugeridos pela aplicação da tecnologia de grupo.

### **3.4.2 Restrições aos Agrupamentos**

Inicialmente é importante que sejam detectadas as peças que são problemáticas para o arranjo, em função de necessitarem processamento em máquinas que não foram designadas para a fabricação da família na qual estas peças foram classificadas. Tais peças são chamadas de exceções e, em função de uma análise de custos, devem ter a sua fabricação terceirizada ou não.

As restrições físicas impostas pela área na qual a empresa está instalada também devem ser analisadas, a fim de se evitar problemas durante a execução do projeto de layout. Costumam apresentar problemas para a definição de layout as colunas dentro da área, além de paredes, largura dos corredores de movimentação, portas e aberturas. Em alguns casos estas restrições podem ser removidas, em outros não. As máquinas de grande porte, com difícil movimentação em função do seu peso e fundações, também devem ter o seu posicionamento analisado detalhadamente.

Na indústria moveleira em especial os contaminantes tais como pó de madeira, resultante dos processos de usinagem e o vapor, originado dos insumos utilizados na pintura das peças podem impedir determinados agrupamentos. A utilização de um bom sistema de exaustão pode resolver estes problemas.

### **3.4.3 O Projeto de Layout Focalizado**

Identificadas as restrições impostas aos agrupamentos, o primeiro projeto de layout pode ser desenhado. A lógica do projeto deve ser privilegiar o fluxo das peças mais importantes, definidas pela elaboração do diagrama P-Q (Figura 3.3), através da aproximação das áreas com maior relação. Quanto mais próximas ficarem as células de fabricação das áreas de submontagem e estas das áreas de montagem final, mais fácil será o fluxo de trabalho e melhor será o resultado final do projeto. Na Figura 3.4 podemos visualizar esta lógica, proposta por Black [Black 91].

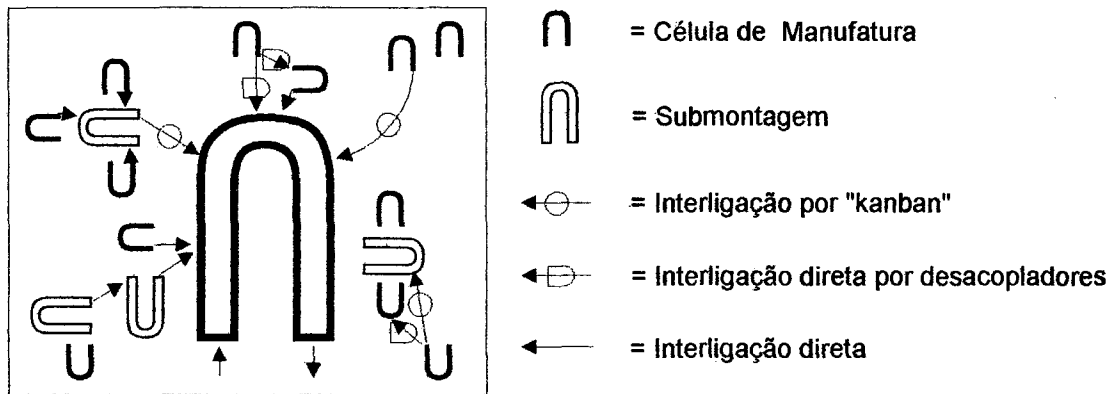


Figura 3.4 Lógica para montagem de layout focalizado. [Black 91]

É fundamental que o processo de desenvolvimento do primeiro e do último projetos de layout seja feito de forma iterativa e interativa. Desenvolve-se o primeiro projeto e se apresenta ele ao grupo de trabalho para que os problemas possam ser visualizados e as sugestões do grupo apresentadas. Parte-se para o segundo projeto, o qual após concluído é apresentado ao grupo para nova análise e segue-se desta forma até que se chegue ao melhor projeto em relação as restrições existentes. Quanto maior participação do grupo houver nesta etapa, mais rápido se chega ao resultado desejado.

A execução dos desenhos com a utilização de um sistema de CAD (Computer Aided Design) facilita a mudança de posição dos elementos do layout durante o processo de construção do melhor projeto. Para facilitar a apresentação do projeto e auxiliar no treinamento de pessoal, em grandes projetos, é interessante que se faça um modelo do layout tridimensional com o uso de maquetes.

### 3.5 Simulação da Proposta de Layout

Após a definição da melhor possibilidade de layout focalizado, deve-se passar para a elaboração do projeto de simulação conforme os passos apresentados no capítulo 2. Estes passos são:

1. Definição do problema;
2. Planejamento do projeto;
3. Definição do sistema;
4. Formulação conceitual do modelo;
5. Projeto experimental preliminar;
6. Preparação dos dados de entrada;

7. Tradução no modelo;
8. Verificação e validação;
9. Projeto experimental final;
10. Experimentação;
11. Análise e interpretação;
12. Implementação e documentação.

Durante o desenvolvimento do projeto há uma série de parâmetros que precisam ser definidos. Na próxima seção alguns destes parâmetros são apresentados. Além disso, nesta etapa devem ser calculadas as medidas de desempenho com a utilização dos dados resultantes da simulação.

### **3.5.1 Definição dos Parâmetros do Modelo**

Os parâmetros do modelo são todas as variáveis independentes que devem ser definidas para que o modelo de simulação seja executado e gere os resultados planejados. O número destas variáveis depende, logicamente, da quantidade de elementos que estarão sendo estudados, como por exemplo transporte (tipo, quantidade, etc.).

Neste caso, o número de máquinas e o seu posicionamento na área fabril terão a sua definição inicial determinada no projeto de layout para a simulação. As demais variáveis a serem definidas são as descritas abaixo:

- intervalo entre produção de itens: esta variável indica a frequência de fabricação de cada produto. Inicialmente é definida de acordo com o histórico de produção da empresa. Após o teste do comportamento das demais variáveis pode ser alterada para verificar a possibilidade de aumento de produção em função das modificações no sistema produtivo;
- tamanho de lote: o tamanho de lote determina as quantidades padrão para produção e movimentação de cada uma das peças e produtos fabricados na empresa. Quanto menor puder ser o tamanho de lote menor será o “lead time” de produção, todavia tamanhos de lote pequenos só podem ser alcançados em sistemas produtivos com baixo tempo de “setup”;
- transporte: as variáveis relativas ao modo de transporte dos elementos no modelo são: tipo de transporte (correia transportadora, empilhadeira, operário transportador), quantidade de cada elemento de transporte servindo dentro do sistema, velocidade de transporte e percurso de transporte;

Estes parâmetros serão alterados após a execução da simulação, caso os resultados planejados não sejam alcançados.

### **3.5.2 Cálculo das Medidas de Desempenho**

Através dos resultados apresentados pelos relatórios dos pacotes de simulação, as medidas de desempenho apresentadas na seção 3.2.4 devem ser calculadas. Depois de calculadas elas devem ser comparadas com as medidas de desempenho atuais da empresa. Se os resultados estiverem compatíveis com os objetivos globais definidos, devem ser avaliados os ganhos potenciais que serão obtidos com a implantação do novo sistema. Caso os resultados não sejam satisfatórios o processo deve ser repetido a partir do projeto do layout. Este ciclo deve ser repetido até que os objetivos sejam alcançados.

## **3.6 Implantação do Novo Layout**

A partir do momento que o projeto de layout tenha sido simulado e os seus parâmetros estejam definidos, passamos para a etapa de implantação deste novo layout. A etapa de implantação pode ser dividida em outras três, que são: avaliação dos ganhos potenciais, definição da área piloto/implantação e expansão da implantação. A seguir vamos detalhar estas etapas.

### **3.6.1 Avaliação dos Ganhos Potenciais**

Através da comparação dos indicadores de desempenho obtidos na simulação com os indicadores de desempenho atuais da empresa, podem ser mensurados os ganhos potenciais que serão obtidos com a implantação do novo sistema de produção focalizado com células de manufatura.

Os dados resultantes desta comparação são fundamentais no sentido de se justificar economicamente as modificações. Em função disso, pode-se alavancar os recursos financeiros necessários para a execução das alterações necessárias.

### **3.6.2 Definição da Área Piloto/Implantação**

A definição de uma área piloto é fundamental para que os trabalhadores se familiarizem com a forma de trabalho em células e também é útil para servir como instrumento para treinamento prático aos demais funcionários da empresa. Segundo Lubben [Lubben 89] os programas piloto permitem a seleção dos operários, sem imposição a um grupo não preparado.

Além disso os riscos envolvidos na introdução da focalização da produção com células de manufatura de uma única vez tendem a ser elevados. De acordo com Silveira

[Silveira 94] a definição da área piloto deve levar em conta a análise das seguintes características:

- lucratividade da área em relação ao total;
- volume de produção da área;
- diversidade de máquinas e componentes;
- qualificação e envolvimento do pessoal;
- grau de interferência da área nos diversos outros fluxos produtivos.

Seguindo a definição da área piloto deve ser realizada uma análise dos custos envolvidos no processo de execução das modificações, a fim de se definir se as modificações serão realizadas com recursos próprios da empresa ou se esta parte do projeto será terceirizada para uma empresa especializada em alterações de arranjo físico. Nos custos envolvidos, além dos referentes a movimentação de máquinas, devem ser computados os custos de reparo, pintura ou sinalização das máquinas e instalações, acréscimo de acessórios nas máquinas (novos dispositivos, alimentadores, etc.), modificações em aberturas, etc.

Após a definição a respeito de como será feita a implantação, deve ser elaborado um cronograma detalhado de trabalho que relacione datas, tarefas e os responsáveis pela execução de cada uma das atividades previstas. Os desenhos relativos ao projeto do layout (disposição das máquinas, alterações de planta elétrica e hidráulica, etc.) devem ser reunidos e disponibilizados ao pessoal que irá executar as modificações. Será bastante conveniente que o período para alteração do layout ocorra durante as paradas anuais da empresa, pois desta forma se evita o transtorno da interrupção da produção.

Precedendo a implantação da área piloto, deve ocorrer o treinamento das pessoas envolvidas no projeto. Nesta fase de treinamento devem ser passadas para os operários todas as diferenças existentes no trabalho dentro de um ambiente de produção convencional e em outro baseado em células de manufatura. A questão da polivalência, necessidade do trabalhador estar apto a operar diversos tipos de máquinas, deve ser bastante enfatizada e justificada. Além disso, devem ser solidamente ensinadas para eles as técnicas para Análise e Solução de Problemas, as quais permitirão a sua atuação efetiva no gerenciamento da área de trabalho. O período de treinamento deve ser bem planejado para evitar que fiquem muitas dúvidas entre os gerentes, supervisores e operários sobre os procedimentos de trabalho no novo sistema. Quanto mais eficiente for o treinamento, mais rápido a área selecionada retornará para uma situação de “normalidade” operacional.

Os gerentes e supervisores, os quais deverão treinar os operários, precisam passar a exercer a sua função como técnicos de um time que busca bons resultados coletivamente. É fundamental que se elimine o conceito existente hoje em muitas empresas dos “chefes”, que muitas vezes nem têm um conhecimento adequado do processo que gerenciam e, que se notabilizam por estar constantemente “apagando incêndio” e procurando culpados para os

erros que ocorrem na sua área. Isto cria um clima destrutivo na organização, impedindo o surgimento de um ambiente propício à melhoria contínua (“Kaizen”).

Segundo Al-Shagana [Al-Shagana 97] um dos fatores que prejudicou bastante o sucesso da focalização da produção com células de manufatura na empresa BAL Ltd. foi a manutenção do comportamento dos gerentes da empresa semelhante ao utilizado no sistema clássico de trabalho. O autor também sugere em seu trabalho que constem nos conteúdos apresentados para os gerentes durante o período de treinamento os seguintes tópicos: teoria sobre tecnologia de grupo, conceitos sobre focalização da produção e sobre o gerenciamento das mudanças. Paralelamente ao treinamento, os gerentes e supervisores devem continuamente:

- motivar o seu grupo de trabalho;
- reconhecer e recompensar o grupo de trabalho (não necessariamente financeiramente);
- estimular continuamente as iniciativas do grupo;
- desenvolver um ambiente onde as mudanças sejam bem vindas e novas idéias sejam encorajadas;
- dar oportunidade para o desenvolvimento dos indivíduos;
- entender e comunicar as mudanças nas necessidades dos clientes

### **3.6.3 Expansão da Implantação**

Depois de consolidada a focalização da produção com células de manufatura na área piloto, o processo de modificação do sistema de produção deve ser estendido às demais áreas da empresa, conforme o projeto elaborado. Lubben [Lubben 89] diz em seu livro que a medida que o projeto piloto seja bem sucedido, vai ocorrer um interesse nos outros grupos da empresa, passando a ocorrer uma internalização natural do processo para outras áreas.

## **3.7 Gerenciamento do Sistema**

Depois de realizada a implantação do novo layout o sistema necessitará um monitoramento constante através de um sistema de controle, com a finalidade de se garantir a sua estabilidade. As principais questões que precisarão ser controladas neste novo sistema são:

- ciclo de trabalho nas células: em função das variações de demanda, deve ser utilizada a flexibilidade proporcionada pelas células para se aumentar ou reduzir o número de trabalhadores em cada uma das células.

- acúmulos de estoque em processo: o acompanhamento dos acúmulos de estoques na fábrica, a partir da focalização da produção com células de manufatura, é um indicador de problemas, os quais após resolvidos garantirão uma performance superior para o sistema.
- manutenção dos equipamentos: com a restrição as grandes quantidades de estoques, proposta no modelo japonês, as máquinas devem estar sempre prontas a produzir com a sua capacidade total. Se o sistema de manutenção não garantir boas condições às máquinas a manufatura não terá uma boa performance. Em função disso a manutenção passa a ser estratégica e prioritária na organização.

Para se realizar este acompanhamento há uma série de requisitos importantes relativos a forma de gerenciamento do sistema. Estes requisitos são: acompanhamento das medidas de desempenho; ambiente gerencial adequado e utilização de ferramentas eficientes para análise e solução de problemas pelos funcionários. Nos tópicos seguintes serão abordados cada um destes pontos.

### **3.7.1 Acompanhamento das Medidas de Desempenho**

As medidas de desempenho passam uma posição a respeito da performance de um sistema de produção, portanto elas devem ser constantemente monitoradas dentro de um ambiente gerencial da qualidade total, de forma que anomalias no sistema sejam detectadas e solucionadas.

Desta forma se garante que os objetivos planejados para o sistema de produção sejam compatíveis com os resultados efetivamente produzidos pelo sistema de produção utilizado.

### **3.7.2 Ambiente Gerencial**

Na base da produção JIT (dentro da qual está inserida a focalização da produção) está o Controle da Qualidade Total (TQC), que deve ser o ambiente gerencial em empresas que procurem a máxima eficiência através da utilização das ferramentas do referido sistema.

A ferramenta gerencial proposta pelo TQC é o PDCA, composto por quatro etapas básicas sequenciais que são: planejar (Plan), executar (Do), Verificar (Check) e agir corretivamente (Action). Segundo Tubino [Tubino 97], a proposta do TQC é de que cada pessoa na empresa empregue o ciclo PDCA no gerenciamento das suas funções, garantindo o atendimento dos padrões. Desta mesma forma deve ser aplicada com relação aos pontos de controle na garantia da performance satisfatória da produção focalizada. Na Figura 3.5 está representado o ciclo PDCA.



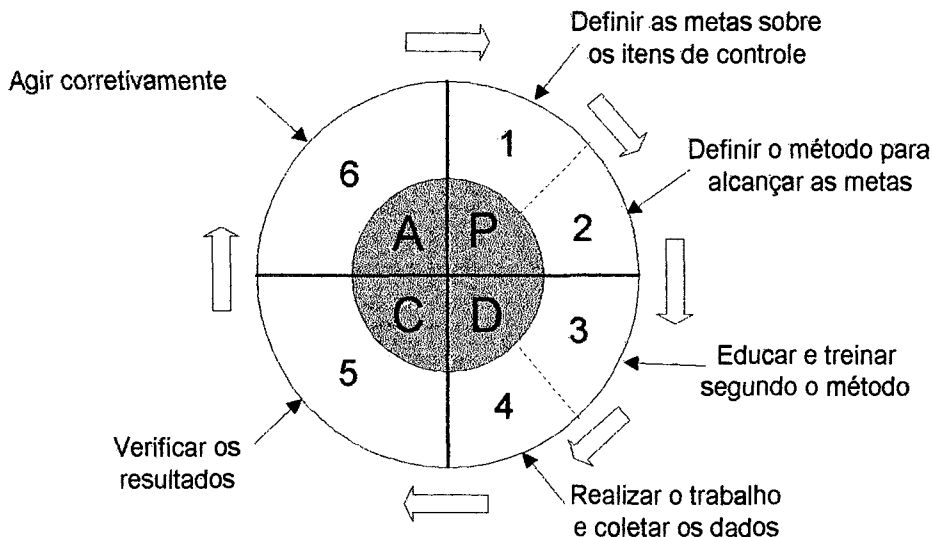


Figura 3.5 Representação do ciclo PDCA. [Tubino 97]

Em cada alteração nos produtos que são fabricados pela empresa ou nas quantidades solicitadas pelo mercado (demanda) o sistema terá que ser reprojetoado, diferentemente do que acontece nos sistemas convencionais onde os departamentos somente recebem equipamentos novos ou mais modernos, em função das variações na demanda. Desta forma é fundamental este sistema de gerenciamento via PDCA, onde as alterações nas medidas de desempenho possam ser rapidamente detectadas.

### 3.7.3 Ferramenta para Análise e Solução de Problemas

Quando são detectados desvios nos resultados esperados em um sistema qualquer, podemos usar uma ferramenta simples e no entanto eficaz na análise e solução de problemas. Esta ferramenta é o diagrama de causa-efeito, de Ishikawa ou “espinha de peixe”, em função do seu formato.

De um lado do diagrama são enumerados os itens de verificação de processo, que previamente foram considerados relacionados aos 6M's (matérias-primas, máquinas, mão-de-obra, métodos, medidas e meio ambiente. Do outro lado deve ser representada o efeito das causas relativo as quatro dimensões da qualidade, que são: custo, qualidade, entrega e serviços.

Quando são relacionadas causas e efeito no diagrama, através de um trabalho em grupo, a busca de solução para uma determinada anomalia se torna muito mais simples. Na Figura 3.6 podemos visualizar uma aplicação do diagrama de Ishikawa.

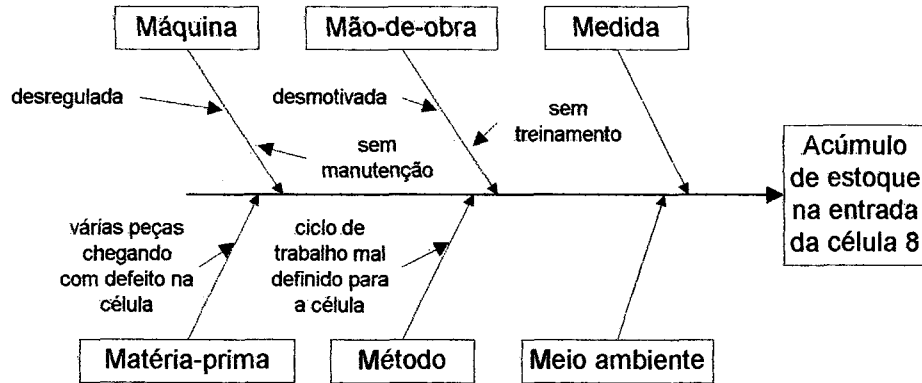


Figura 3.5 Exemplo da aplicação do diagrama de Ishikawa.

Trabalhando dentro do ambiente de TQC com a utilização de ferramentas para a análise e solução de problemas, a empresa passa a ter melhores condições de gerenciar eficientemente o seu sistema de produção.

Uma vez desenvolvido o modelo para a focalização da produção com células de manufatura, vamos apresentar no capítulo 4 um estudo de caso de uma empresa moveleira do interior de Santa Catarina, onde o modelo foi aplicado. Desta forma, vai ficar bastante clara a forma de aplicação de cada um dos passos propostos no modelo.

## *Capítulo 4*

# **Estudo da Aplicação do Modelo**

### **4.1 Introdução**

Uma vez definido no capítulo 3 o modelo para a focalização da produção com células de manufatura, neste capítulo vamos apresentar um estudo de caso da indústria moveleira, onde o modelo foi utilizado.

### **4.2 A Empresa**

A empresa, Móveis Nino Ltda., foi fundada no ano de 1987 na cidade de Vidal Ramos, interior de Santa Catarina. Inicialmente produzia móveis sob encomenda para os clientes localizados nos municípios próximos à sua sede.

A produção seriada foi iniciada no ano de 1993, pois os resultados obtidos com a produção sob encomenda deixaram de ser satisfatórios. As matérias-primas utilizadas pela empresa são o Cedrinho e o Pinus, procedentes da cidade de Taió e do estado do Mato

Grosso. Hoje a empresa está instalada numa área construída de 787 m<sup>2</sup>, contando com 29 colaboradores.

A partir de 1995 a empresa teve um aumento significativo na sua demanda e o seu faturamento anual passou de R\$ 45.600,00 para os atuais R\$ 780.000,00. A empresa atribui esta melhoria no seu resultado financeiro a preocupação de fabricar produtos que sejam competitivos nos seguintes fatores: qualidade, preço e atendimento. Os principais municípios do estado de Santa Catarina onde comercializa os seus produtos são os seguintes:

- Blumenau;
- Joinville;
- Brusque;
- Timbó;
- Indaial;
- Timbé do Sul.

Um fator importante observado na empresa é que ela está constantemente renovando o seu parque de máquinas e aberta para introdução de novas tecnologias. Para se ter uma idéia disso, o programa 5S já foi implantado através de uma consultoria desenvolvida pelo SEBRAE.

Como fruto da implantação do 5S, periodicamente a diretoria da empresa se reúne com os funcionários para avaliar a evolução do programa e para ouvir as sugestões de melhorias apresentadas pelo grupo.

Em função desta empresa trabalhar produzindo bens através de processos repetitivos em lote, pode-se tranquilamente utilizar a produção focalizada com células de manufatura no seu sistema de produção. Por isso, a fábrica Móveis Nino Ltda. foi escolhida para a aplicação do modelo proposto.

### **4.3 Aplicação do Modelo**

A aplicação do modelo à fabrica Móveis Nino Ltda. foi bastante trabalhosa, porém muito satisfatória. Trabalhosa porque todos os dados necessários para análise do sistema de produção da empresa e para utilização como dados de entrada no modelo de simulação tiveram que ser coletados ao longo do trabalho, pois não havia documentação na empresa a respeito das árvores de produto ou dos roteiros e tempos de processamento. Por outro lado, a execução das etapas propostas no modelo permitiu, em função da liberdade de ação oferecida pelo proprietário da empresa, a realização de um trabalho bastante completo do

ponto de vista da engenharia industrial. Nos próximos tópicos estão descritas as atividades desenvolvidas neste estudo de caso, segundo a metodologia proposta.

## **4.4 Formação do Grupo de Trabalho**

### **4.4.1 Escolha do Grupo**

O grupo de trabalho foi composto por dois diretores e dois coordenadores de produção da empresa. Desta forma se garantiu apoio ao processo de focalização da produção com células de manufatura, com o engajamento total da diretoria e, a certeza da correta disseminação dos conceitos a respeito da focalização da produção aos demais trabalhadores, a ser realizada pelos coordenadores de produção.

### **4.4.2 Conscientização**

Neste momento do trabalho foram passados conhecimentos teóricos para o grupo de trabalho a respeito da produção JIT e da focalização da produção. Desta forma foi possível se demonstrar à todos as vantagens, em termos de poder de concorrência, proporcionadas por estes modernos sistemas de produção baseados no modelo japonês.

O grupo ficou bastante impressionado com a possibilidade de simplificação do fluxo produtivo, redução dos estoques em processo e dos “lead times” para o atendimento dos clientes.

Ao longo do processo de conscientização, todos os componentes do grupo de trabalho fizeram questionamentos a respeito da forma de adaptação das técnicas apresentadas ao setor moveleiro. Ao final do processo, todos já tinham uma idéia bem clara dos passos propostos no modelo apresentado e, das modificações necessárias para se fazer a focalização da produção com células de manufatura.

### **4.4.3 Definição dos Objetivos**

Para a diretoria da empresa o principal objetivo a ser atingido com o novo sistema é a redução da complexidade do sistema produtivo, pois além do fluxo dos componentes e subconjuntos dentro da fábrica estar a beira do caótico, não há um sistema de controle do material em processo, ocorrendo falta de algumas peças em determinados momentos e excesso de outras não necessárias.

A segunda maior preocupação é com a redução dos tempos de fabricação da empresa de forma que possa atender mais rapidamente os pedidos dos clientes. Atualmente os “lead times” para atendimento dos pedidos de compra estão altíssimos, com média de 38 dias. Esta mudança é necessária para que haja uma melhorara na competitividade da

empresa, aumentando a sua capacidade como “ganhadora de pedido”. Através da análise da Figura 4.1 podemos mensurar os tempos de entrega dos pedidos (em dias) e a sua variabilidade.

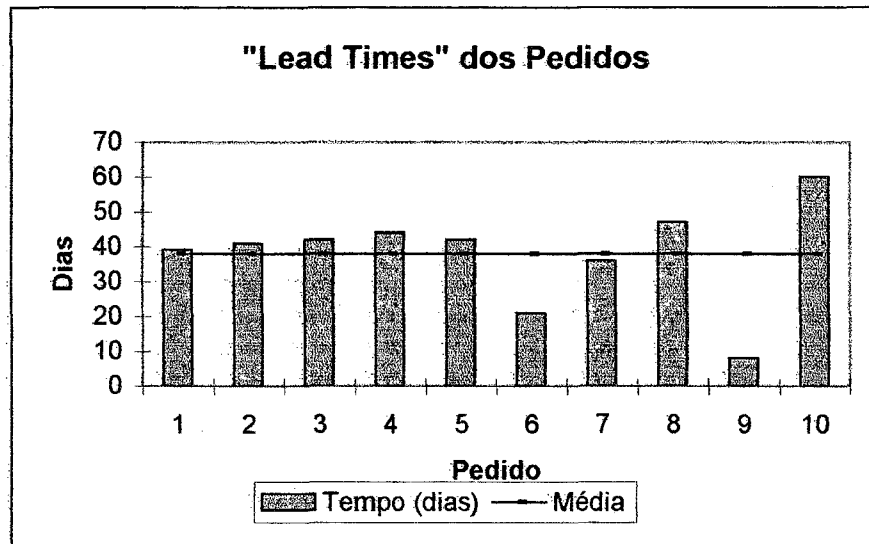


Figura 4.1 *Tempo para atendimento dos pedidos dos clientes de Móveis Nino Ltda.*

A demora no atendimento dos pedidos é reflexo direto dos altos tempos para fabricação dos produtos, fruto da utilização do sistema convencional de trabalho com grandes lotes de fabricação, variando de 200 a 1.000 peças para os componentes, e das muitas perdas que ocorrem ao longo dos processos empregados pela empresa. Na Tabela 4.1 estão relacionados os tempos médios para a fabricação de cada produto.

Produto	Tempo Médio de Fabricação (horas: minutos)
Roupeiro 2 portas	42:05
Roupeiro 3 portas	39:17
Roupeiro 4 portas	40:30
Roupeiro 5 portas	42:00
Roupeiro 6 portas	41:36
Roupeiro Capelinha	40:16
Cama	36:31
Cômoda	41:12
Bidê	36:56

Tabela 4.1 *Tempos médios para a fabricação de cada produto.*

Quanto aos estoques em processo, significavam para o diretor que a empresa estava funcionando a pleno, sem que isso lhe causasse preocupação. Pelo menos até o momento que lhe foi perguntado a respeito de algumas peças que estavam em estoque, as quais ele

pensava que eram suficientes somente para consumo no dia seguinte e, que na realidade podiam atender 60 dias de produção. A partir daí a redução dos estoques em processo passou a ser um dos objetivos importantes a serem alcançado com a focalização da produção com células de manufatura.

Estes foram os principais objetivos definidos pela empresa para serem alcançados com a utilização da focalização da produção, tendo os demais benefícios advindos da utilização da ferramenta como acréscimo.

#### **4.4.4 Definição das Medidas de Desempenho**

Das medidas de desempenho propostas para a avaliação da produção JIT, neste estudo de caso serão utilizadas somente três delas. Estas três medidas de desempenho são: tempo de passagem, estoque em processo e taxa de utilização do espaço físico.

As demais medidas de desempenho não serão utilizadas em função das seguintes questões:

- a empresa tem como princípio não fabricar produtos finais para estoque, portanto a quantidade produzida e vendida de produtos é sempre igual;
- o tempo de operação das máquinas não foi registrado, em função do período de trabalho que demandaria este controle e da restrição de tempo para a conclusão deste trabalho;
- o número de horas despendido pela equipe de trabalho também não foi coletado pelo mesmo motivo apresentado no item anterior;
- não se entrou em questões de análises econômicas mais aprofundadas durante a aplicação deste modelo, porque este ponto não estava no escopo do trabalho.

#### **4.5 Análise do Sistema de Produção Atual**

O início do processo de fabricação se dá através da colocação mensal dos pedidos de produtos dos lojistas na empresa, por intermédio de um representante comercial. A partir daí os pedidos são fracionados em “cargas”, correspondentes a capacidade de transporte do caminhão que faz as entregas. Posteriormente são enviadas ordens de fabricação para a produção, onde os móveis são produzidos em grandes lotes. A empresa leva em média 38 dias para atender cada pedido dos clientes.

Neste sistema de produção, como pode ser visualizado na Figura 4.2, os equipamentos e o modo de trabalho estão sendo definidos de acordo com a filosofia clássica ou funcional de produção, de forma que as peças são manufaturadas em grandes lotes, os quais ficam boa parte do tempo que estão dentro da fábrica parados em estoques intermediários, aguardando operações de processamento ou transporte.

Os operadores, em geral ex-agricultores, trabalham em uma única máquina sem um sistema formal de treinamento, mas com a possibilidade de apresentação de sugestões de melhoria nas reuniões periódicas de avaliação de desempenho promovidas pela direção da empresa. De uma forma geral parecem motivados e dispostos a aceitar mudanças no seu modo de trabalho.

Os estoques de peças em processo são bastante elevados em função da falta de um sistema eficiente para o controle da produção, o qual poderia ser tranquilamente um sistema "Kanban". Em função disso, em muitos casos há estoque de peças que não são necessárias e falta de outras peças necessárias. Esta falta de controle da produção gera nos operadores uma insegurança, que os impulsiona a produzir sempre uma quantidade um pouco maior de peças do que o solicitado, causando perdas por superprodução. Outro fator que atrapalha fortemente a produção é a alta quantidade de peças defeituosas produzidas, talvez em função de não existir uma situação clara de relacionamento cliente/fornecedor na empresa, o que pode ser melhorado bastante com o auxílio da focalização da produção com células de manufatura.

Com relação aos produtos finais não ocorre a formação de estoques porque as montagens só produzem as quantidades de produtos solicitadas pela área de vendas. Quando as quantidades solicitadas são atingidas os produtos são então transportados para os clientes.

#### 4.5.1 Obtenção de Dados

A seguir, vamos analisar cada um dos elementos do sistema de produção considerados importantes para o sucesso na utilização do modelo proposto, em função dos dados coletados:

1. Disposição do layout atual: como pode ser visualizado na representação do layout atual da empresa, mostrado na Figura 4.2, a perda relativa ao processo de transporte das peças e dos subconjuntos é bastante grande. A outra perda significativa é a provocada pelos tempos de espera por processamento ou por transporte nos estoques intermediários, que também tem os pontos representados na figura 4.2. Outra característica deste layout é a complexidade que há nos trajetos percorridos pelos componentes ao longo do seu fluxo de produção. Além disso, no pavilhão que abriga a fábrica há uma série de restrições impostas pelas paredes entre as áreas onde estão instaladas as máquinas, as quais foram construídas durante ampliações que não tiveram maiores preocupações com a questão da eficiência do layout. Isto já nos indica que possivelmente, em função destas restrições, o layout não será o melhor do ponto de vista do ideal teórico. Na área onde estão as lixadeiras grandes (máquinas 8 e 9 na representação da Figura 4.2) ocorre o problema da geração de pó, fato que impede a colocação destas máquinas em outras áreas, mais convenientes do ponto de vista da eficiência do agrupamento. Este problema pode ser resolvido com a instalação de um sistema de exaustão na empresa. Felizmente uma análise deste fluxo de processo feita pelos diretores da empresa, causou uma sensibilização bastante forte para que sejam implementadas alterações. O fluxo de



processo do montante da porta e da montagem da porta foram escolhidos para a representação na figura em função da sua importância na produção diária da empresa.

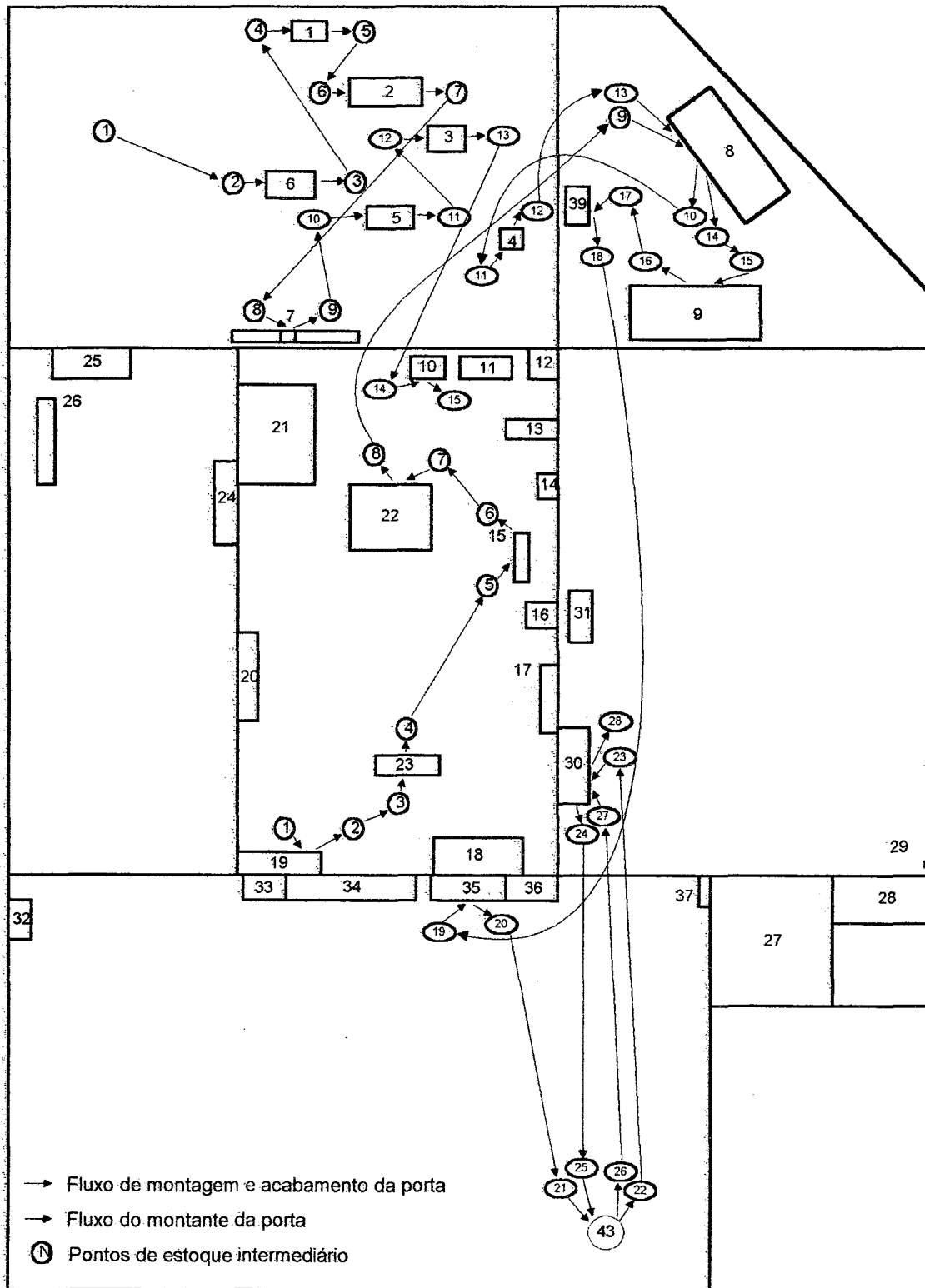


Figura 4.2 Layout atual da empresa e representação do fluxo de materiais.

2. Árvores de produto: como mencionado anteriormente, as árvores de produto não estavam documentadas pela empresa. Desta forma tiveram que ser elaboradas ao longo do trabalho. Simultaneamente a elaboração das árvores de produto, os móveis fabricados pela empresa foram sendo codificados (o sistema de codificação utilizado está descrito no Anexo I). São fabricados de forma seriada pela empresa 9 produtos diferentes. Na Figura 4.3 está apresentada a árvore de produto do roupeiro de 2 portas. Através da análise do conjunto de árvores de produto da empresa foi possível se observar o alto grau de padronização do móveis, onde algumas peças são utilizadas em diversos produtos. Como um produto extra resultante da elaboração das árvores de produto, foi possível se desenvolver um sistema de definição das necessidades de material através do software Excel ®, descrito no Anexo II.

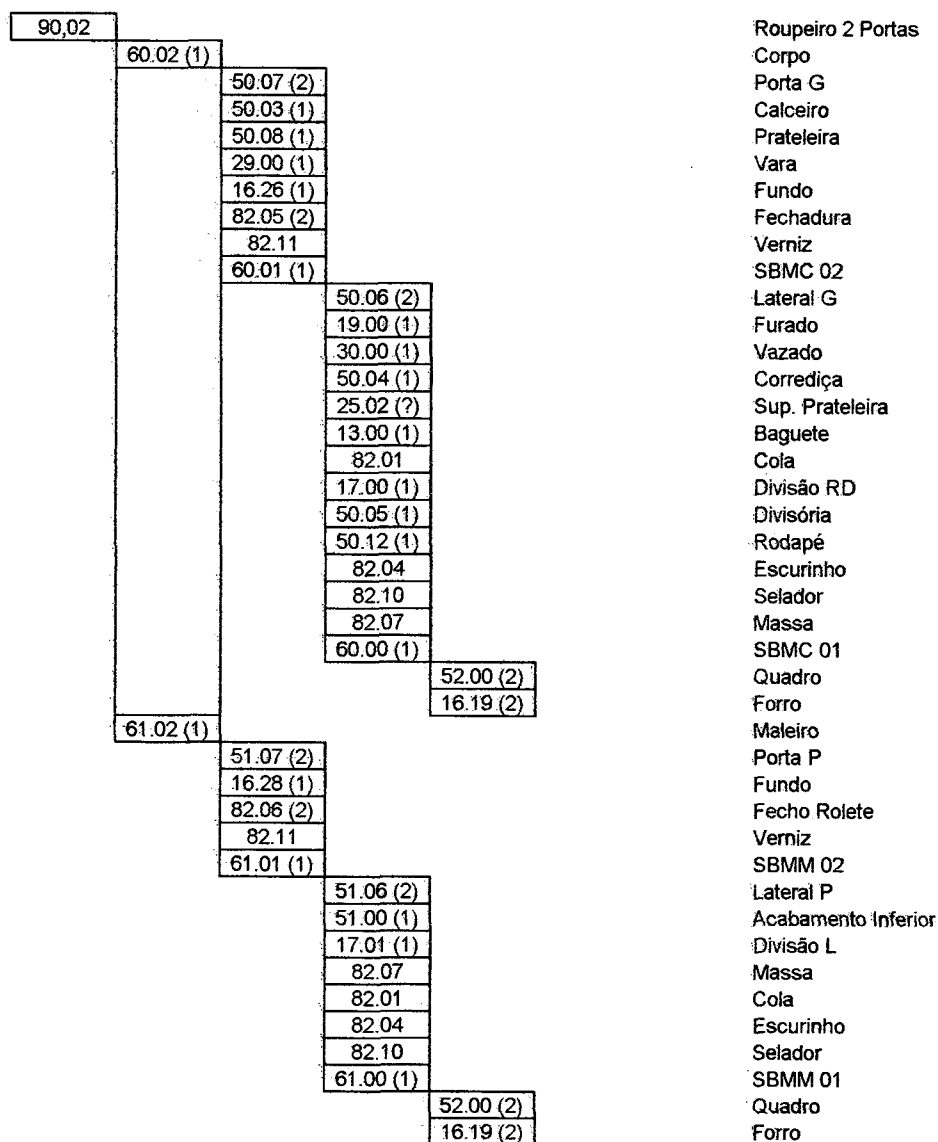


Figura 4.3 *Árvore de produto do roupeiro de 2 portas.*

3. Quantidades produzidas: os dados relativos as quantidades produzidas de cada um dos produtos finais, média diária de produção de cada produto e número de dias trabalhados a cada mês pela empresa estão relacionados na Tabela 4.2.

1997	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Média
2 Portas	2	0	5	0	0	0,07
3 Portas	58	37	43	42	46	2,15
4 Portas	104	106	131	69	76	4,63
5 Portas	6	5	2	7	5	0,24
6 Portas	26	10	26	27	35	1,18
Capelinha	81	82	34	40	32	2,56
Cama	129	72	53	73	75	3,83
Bidê	124	104	90	95	95	4,84
Cômoda 4	15	15	15	15	21	0,77
dias trab.	17	18	23	25	22	21,00

Tabela 4.2 *Produção mensal dos produtos finais fabricados pela Móveis Nino Ltda.*

Na Figura 4.4 os dados tabulados na Tabela 4.2 estão apresentados na forma de gráfico. Através da análise deste gráfico, podemos ter uma idéia das variações de demanda sentidas pela empresa.

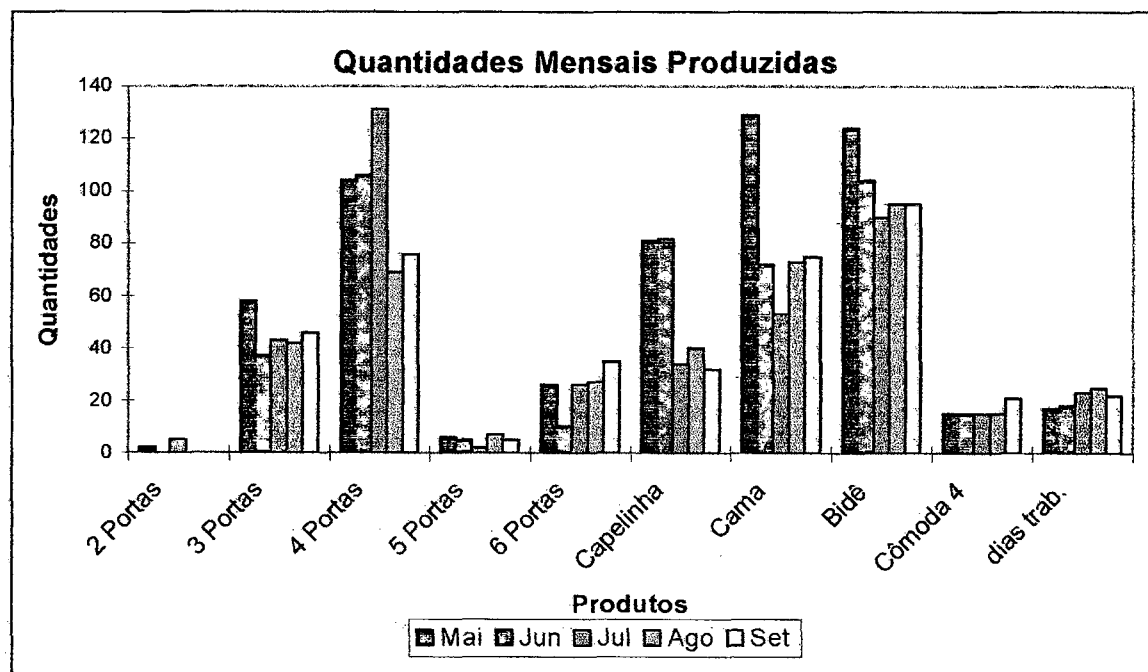


Figura 4.4 *Quantidades mensais de produtos finais fabricados.*

Através da média diária de produção de cada produto final fabricado pela empresa, utilizando-se uma planilha elaborada no software Excel®, foi possível se definir quais são os componentes e subconjuntos produzidos em maior quantidade pela empresa, os quais devem ter prioridade na alteração do arranjo físico da fábrica para aumentar a sua facilidade de fabricação. Estes dados serão utilizados também na definição dos tamanhos de lote de fabricação para cada peça e subconjunto. Na Figura 4.5 está representada de forma gráfica a relação peças/quantidades, através da qual realizamos a análise ABC.

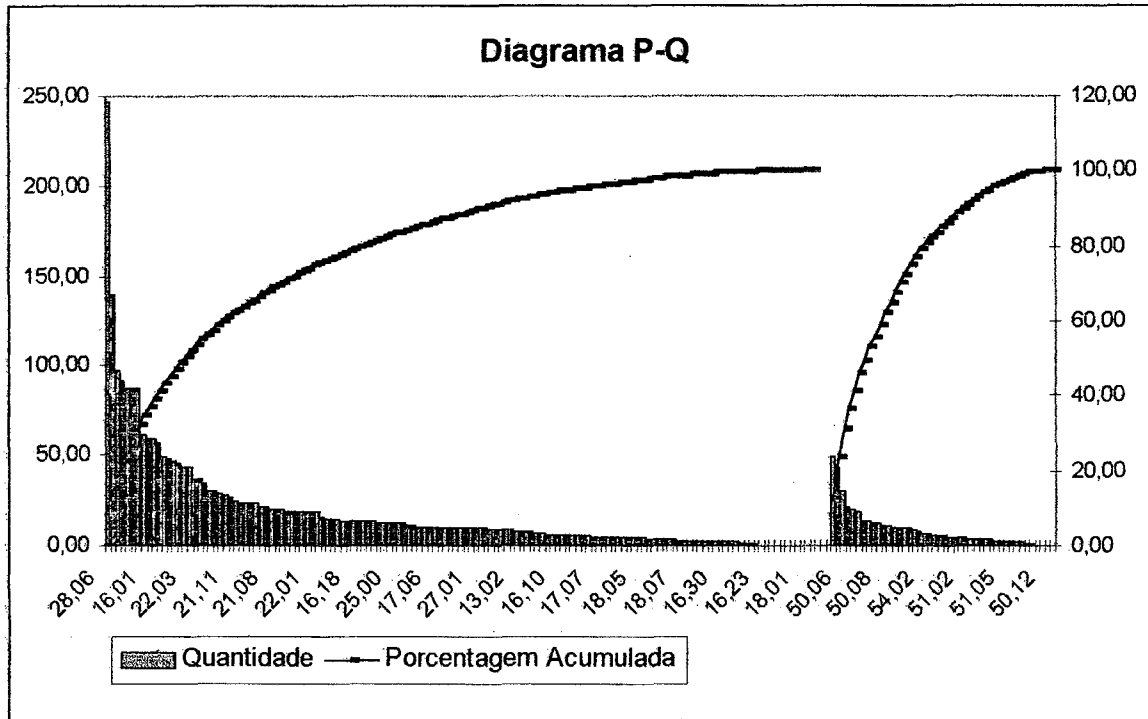


Figura 4.5 *Quantidades diárias de componentes fabricados, para análise ABC.*

Pela análise ABC pudemos concluir que os subconjuntos mais produzidos pela empresa são os agrupados na família 1, que são as portas grande e pequena, laterais grande e pequena e divisória dos roupeiros. Em função disso, priorizaremos no projeto do arranjo celular as melhores condições para a fabricação destes subconjuntos e de seus componentes. As demais famílias são: 2 – rodapés dos roupeiros; 3 – quadros dos roupeiros; 4 – calceiro, correção e prateleiras dos roupeiros; 5 – cabeceira, lateral e peseira da cama; 6 – gaveta e rodapé da cômoda, gaveta do bidê; 7 – lateral, quadro e tampa superior da cômoda, lateral, quadro e tampa superior do bidê.

4. Roteiros de fabricação: os roteiros de fabricação dos componentes também não estavam documentados na empresa e, portanto tiveram que ser registrados na primeira etapa do trabalho. Na Tabela 4.3 está apresentado o roteiro de fabricação da peça Travessa do Quadro (28.06), com a especificação do número de cada operação, descrição da operação e posto de trabalho onde a operação deve ser executada. No total foram documentados mais de 90 roteiros de fabricação de componentes e quase 40 de subconjuntos, além dos roteiros de montagem final.

Peça	Cód.	Op.	Descrição da Operação	Posto
Travessa Q	28.06	5	galopar	6
		10	abrir	1
		15	aplainar	2
		20	destopar	7
		25	respigar	5

Tabela 4.3 *Roteiro de fabricação da peça Travessa do Quadro (28.06).*

Os roteiros de fabricação são o ponto de partida para a montagem da matriz de incidência peça/máquina, primeiro passo na busca da formação das células de manufatura. É importante que antes de se usar os roteiros de fabricação na montagem da matriz de incidência se faça uma análise de operações no roteiro que podem ser suprimidas ou realizadas em outras máquinas, a fim de se facilitar o trabalho de alteração de layout. Durante a aplicação do modelo na fábrica Móveis Nino Ltda. foi possível se fazer algumas alterações do tipo sugerido, as quais facilitaram o arranjo das células.

5. Tempos das operações: na fábrica Móveis Nino Ltda. foram cronometrados pela equipe de trabalho da EJEP (Empresa Júnior da Engenharia de Produção) mais de 6.000 tempos, sendo os dados armazenados em planilhas do tipo representado na Tabela 4.4.

Peça				Cód.	Op.			Descrição da Operação			Q.ref.	Posto
<b>Travessa Q</b>				28.06	5			galopar			1	6
<b>E</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Tmed=	00:04,9
<b>ti</b>	00:04,9	00:04,9	00:04,7	00:05,1	00:04,9	00:05,1	00:04,7	00:04,9	00:05,1	00:04,7	Tcor=	00:04,9
<b>C</b>	00:04,9	00:09,8	00:14,5	00:19,6	00:24,5	00:29,6	00:34,3	00:39,2	00:44,3	00:49,0	Z%=	0,08
					10			abrir			1	1
<b>E</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Tmed=	00:02,3
<b>ti</b>	00:02,2	00:02,3	00:02,5	00:02,1	00:02,3	00:02,6	00:02,0	00:02,3	00:02,8	00:01,8	Tcor=	00:02,3
<b>C</b>	00:02,2	00:04,5	00:07,0	00:09,1	00:11,4	00:14,0	00:16,0	00:18,3	00:21,1	00:22,9	Z%=	0,27
					15			aplainar			1	2
<b>E</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Tmed=	00:02,8
<b>ti</b>	00:02,7	00:02,8	00:02,6	00:03,0	00:02,8	00:03,1	00:02,5	00:02,8	00:02,7	00:02,9	Tcor=	00:02,8
<b>C</b>	00:02,7	00:05,5	00:08,1	00:11,1	00:13,9	00:17,0	00:19,5	00:22,3	00:25,0	00:27,9	Z%=	0,15
					20			destopar			1	7
<b>E</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Tmed=	00:19,7
<b>ti</b>	00:18,5	00:18,7	00:19,1	00:23,7	00:19,2	00:20,8	00:19,3	00:19,7	00:19,2	00:19,1	Tcor=	00:19,7
<b>C</b>	00:18,5	00:37,2	00:56,3	01:20,0	01:39,2	02:00,0	02:19,3	02:39,0	02:58,2	03:17,3	Z%=	0,16
					25			respigar			1	5
<b>E</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Tmed=	00:15,7
<b>ti</b>	00:13,9	00:13,3	00:18,6	00:13,2	00:15,4	00:17,6	00:16,2	00:15,8	00:16,0	00:17,1	Tcor=	00:15,7
<b>C</b>	00:13,9	00:27,2	00:45,8	00:59,0	01:14,4	01:32,0	01:48,2	02:04,0	02:20,0	02:37,1	Z%=	0,21
Tempo Total =											00:45,4	

Tabela 4.4 *Tempos dos processos para fabricação da peça Travessa do Quadro (28.06)*

Estes tempos de fabricação são fundamentais como dados de entrada do modelo de simulação computacional. Além disso devem ser usados no levantamento dos custos de produção de cada componente, assunto que não está dentro do escopo deste trabalho.

#### 4.5.2 O Ambiente de Produção

O ambiente de produção da empresa se mostrou bastante bom, pois pode ser sentida uma grande parceria entre o empresário e os operários. À partir da implantação do programa 5S foi instituído um canal de comunicação semanal entre os diretores da empresa e os colaboradores, através das reuniões para manutenção do programa. Estas reuniões, bastante abertas e objetivas permitiram uma maior participação dos trabalhadores nas decisões da empresa e possibilitaram a apresentação de sugestões de melhoria, criando-se

um clima propício para a implantação de outras ferramentas do modelo japonês, tais como a focalização da produção com células de manufatura. Mais especificamente, podemos analisar os seguintes pontos:

- **motivação dos trabalhadores:** os trabalhadores, após a implantação do 5S, período no qual puderam participar bastante no sentido de serem agentes das modificações no seu ambiente de trabalho, estão bastante motivados. O relacionamento entre colegas também parece ser bastante saudável, pois ocorre com uma certa frequência confraternizações esportivas e sociais patrocinadas pela empresa, as quais promovem um clima de confraternização. Com relação a remuneração, como os salários dos outros trabalhadores da região, na sua maioria agricultores, é bastante baixo, os operários consideram bons os seus ganhos na fábrica. O diretor da empresa também permite que os operários façam móveis para as suas casas utilizando os recursos da empresa, pagando somente as matérias-primas;
- **grau de instrução dos trabalhadores:** como na sua maioria os operários são ex-agricultores, que começaram a trabalhar cedo no campo para auxiliar financeiramente as suas famílias, infelizmente não possuem um bom grau de escolaridade. Em função disso o período de treinamento deve ser bem planejado, para garantir um bom rendimento após a troca de sistema de produção, onde o entendimento do sistema e a polivalência passam a ser fundamentais. É estratégico que a empresa procure possibilitar oportunidades de escolarização para os seus trabalhadores, pois o crescente desenvolvimento dos equipamentos e das técnicas de produção exigem mais do que a simples habilidade de se apertar botões ou movimentar materiais;
- **nível de participação da alta gerência:** o engajamento dos diretores da fábrica e dos responsáveis pela produção na busca de melhorias é bastante grande e estimula os demais colaboradores. Desde que percebeu as vantagens obtidas com a implantação do programa 5S o diretor da empresa se tornou incansável na busca de melhorias no ambiente de trabalho e na produtividade. A sua resposta positiva à proposta de execução deste trabalho na empresa foi imediata.

### **4.5.3 Cálculo das Medidas de Desempenho**

As medidas de desempenho que serão utilizadas para a avaliação dos sistemas em estudo são as definidas na seção 4.4.4, que são: tempo de passagem, estoque em processo e taxa de utilização do espaço físico.

Como o modelo de simulação será simplificado, a fim de se viabilizar a sua utilização, as medidas de desempenho tempo de processo e taxa de utilização do espaço físico serão calculadas de acordo com valores referentes somente ao produto final bidê. Na seção 4.7 esta simplificação será detalhada.

1. **Tempo de passagem:** será medido como o tempo demandado para a fabricação de um produto final. Seu valor expressa a diferença de tempo entre o momento que a ordem de

fabricação para a produção do item foi emitida e o momento em que o item foi concluído. Para o item avaliado, bidê, o seu valor é o seguinte:

$$MD1 = 36:56 \text{ (horas:minutos)}$$

2. Estoque em processo: esta medida será avaliada pelo tamanho médio de lote utilizado no sistema de produção (LM), “lead time” de fabricação (LT) e período de trabalho (PT), relacionados conforme apresentado na Fórmula 4.1. Quanto menores forem os lotes menores devem ser os estoques em processo. No sistema atual o tamanho médio de lote, calculado como a média entre o maior e menor tamanho de lote empregado pela empresa, é o seguinte:

$$LM = ((1.000 + 200)/2) = 600 \text{ unidades}$$

$$MD2 = (LM \times LT)/PT \quad (4.1), \text{ utilizando-se os valores:}$$

$$MD2 = (600 + 2.216)/555 = 2.395,7 \text{ unidades/período.}$$

3. Taxa de utilização do espaço físico: calculada como o quociente entre o espaço físico utilizado e o total de produtos fabricados. Utilizando-se somente o número médio de bidês fabricados no período, o valor desta medida de desempenho é:

$$MD3 = 834,44/101,64 = 8,20 \text{ m}^2/\text{unidade}$$

Estes são os valores definidos para as medidas de desempenho, os quais serão comparados com os valores obtidos para o sistema focalizado.

## 4.6 Projeto do Layout

### 4.6.1 Aplicação da Tecnologia de Grupo

O primeiro passo realizado na empresa com a finalidade de se implementar a tecnologia de grupo foi documentar os roteiros de fabricação, fundamentais para este fim. Posteriormente, optou-se por utilizar o arranjo de matrizes, em função da sua eficiência e baixo custo, como técnica para a montagem das células.

Para se fazer a diagonalização das matrizes foi utilizada a própria planilha Excel®, fazendo-se a permutação de linhas e colunas, de forma manual (sem a utilização de nenhum algoritmo matemático), em busca dos agrupamentos. Na Tabela 4.5 está representada uma parte da matriz, estando dispostos os postos de trabalho nas colunas e os subconjuntos nas linhas da matriz.

	19	24	25	26	31	32	40	14	20	23	15	22	8	4	9	38	34	35	36	43	44	41	30	42	45	7	16	1	2	3	5	6	17	18	21	10	11	12	13	46	47	49						
51.07	x			x						x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x																									
50.07	x									x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x																									
50.06									x	x	x	x	x	x	x																																	
51.06									x	x	x	x	x	x																																		

Tabela 4.5 Parte da matriz dos subconjuntos diagonalizada.

Neste caso, os elementos representados antes do posto 23 representam as bancadas onde os subconjuntos são montados. O objetivo no novo layout é que estes subconjuntos da mesma família sejam montados na mesma bancada. As máquinas representadas pelos números 23, 15 e 22 e 8, 4, 9 e 39 formam duas células. Finalmente os elementos assinalados com “x” a partir do posto 35 representam os componentes do processo de pintura para as portas pequena e grande (51.07 e 50.07 respectivamente), os quais devem ser aproximados.

O processo para definição dos demais agrupamentos foi feito como descrito para estes subconjuntos, partindo da sugestão oferecida pela matriz diagonalizada, com a posterior análise das restrições impostas aos agrupamentos. Esta etapa do trabalho exige bastante interação com os “usuários” do layout, os quais podem contribuir com muitas sugestões.

### 4.6.2 Restrições aos Agrupamentos

A primeira restrição imposta ao agrupamento sugerido pela matriz diagonalizada foi a falta de um sistema de exaustão para o agrupamento das lixadeiras e para a aproximação dos componentes na área de pintura. Para resolver este problema foi instalado um sistema de exaustão na fábrica, o que permitiu o agrupamento das lixadeiras. Na área de pintura foi construída uma área fechada, com sistema de exaustão. Desta maneira o problema de restrições ao agrupamento de máquinas por contaminantes do ambiente da fábrica foi resolvido.

As restrições físicas para o agrupamento, em função de pilares e inexistência de portas de acesso entre áreas da empresa não puderam ser resolvidas porque a diretoria da empresa não se mostrou favorável a realização de tais obras. Isto atrapalhou um pouco a eficiência do layout mas não chega a ser um problema grave, em função do quanto se pode melhorar sem estas alterações.

### 4.6.3 O Projeto de Layout Focalizado

Após a análise de todas as restrições aos agrupamentos, o projeto de layout foi sendo elaborado, buscando-se privilegiar as peças mais importantes segundo análise das quantidades de produção dentro da lógica proposta por Black [Black 91], representada na Figura 3.4. Devido a presença excessiva de paredes dentro do prédio da fábrica ficou prejudicada a idéia de se fazer uma interligação direta das áreas de produção de componentes com as áreas de fabricação dos subconjuntos e destas com as áreas de



montagem final. Entretanto, pode-se usar um sistema de “Kanban” para fazer uma ligação inteligente entre os processos.

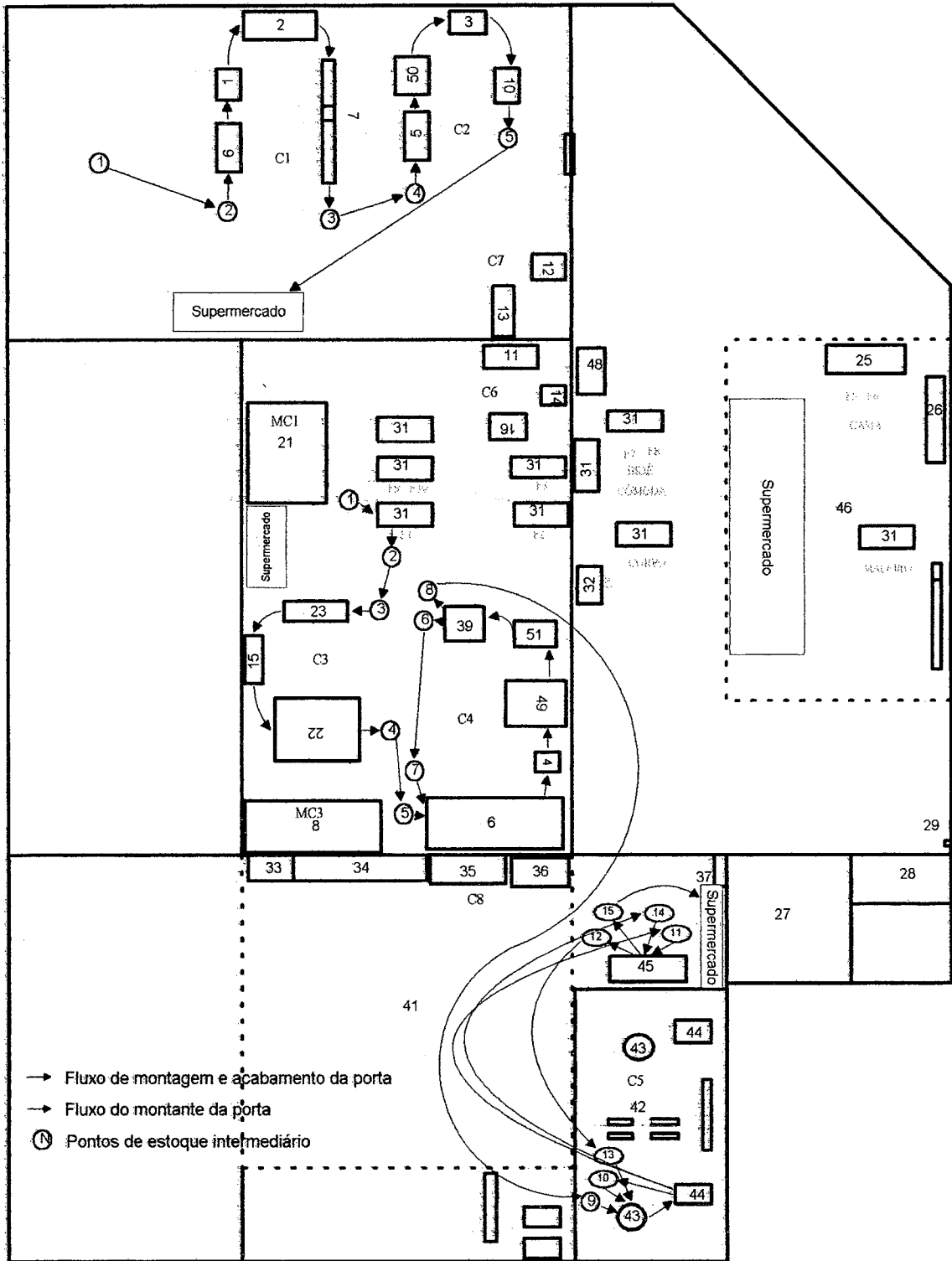


Figura 4.6 Representação do projeto de layout focalizado.

A elaboração da proposta final de layout representada na Figura 4.6 foi desenvolvida em um processo bastante interativo, onde as possibilidades de melhoria do projeto foram sendo discutidas a cada nova proposta, através de apresentação de sugestões por parte do grupo de trabalho.

Como pode ser visto na Figura 4.6 neste layout há uma redução de 67% nas paradas em estoques intermediários nos processos de fabricação do montante da porta e de 46% na fabricação da porta. Além disso, o fluxo de trabalho está bem mais simples, facilitando o trabalho dos operários.

Os desenhos de layout foram feitos com a utilização de CAD (Computer Aided Design), o que facilitou bastante as alterações ao longo de processo de elaboração do projeto satisfatório de layout. Os desenhos feitos em CAD também puderam ser utilizados como fundo na área de trabalho do processo de simulação, pois o Arena ® aceita os arquivos com terminação “dxP” do CAD.

### 4.7 Simulação da Proposta de Layout

A fim de se realizar a simulação do layout proposto foi desenvolvido um modelo para simulação, através da utilização do software ARENA ® versão 2.1 com o template de manufatura AMT 2.0, o qual possui módulos especiais desenvolvidos para facilitar a simulação de sistemas de produção “puxados”.

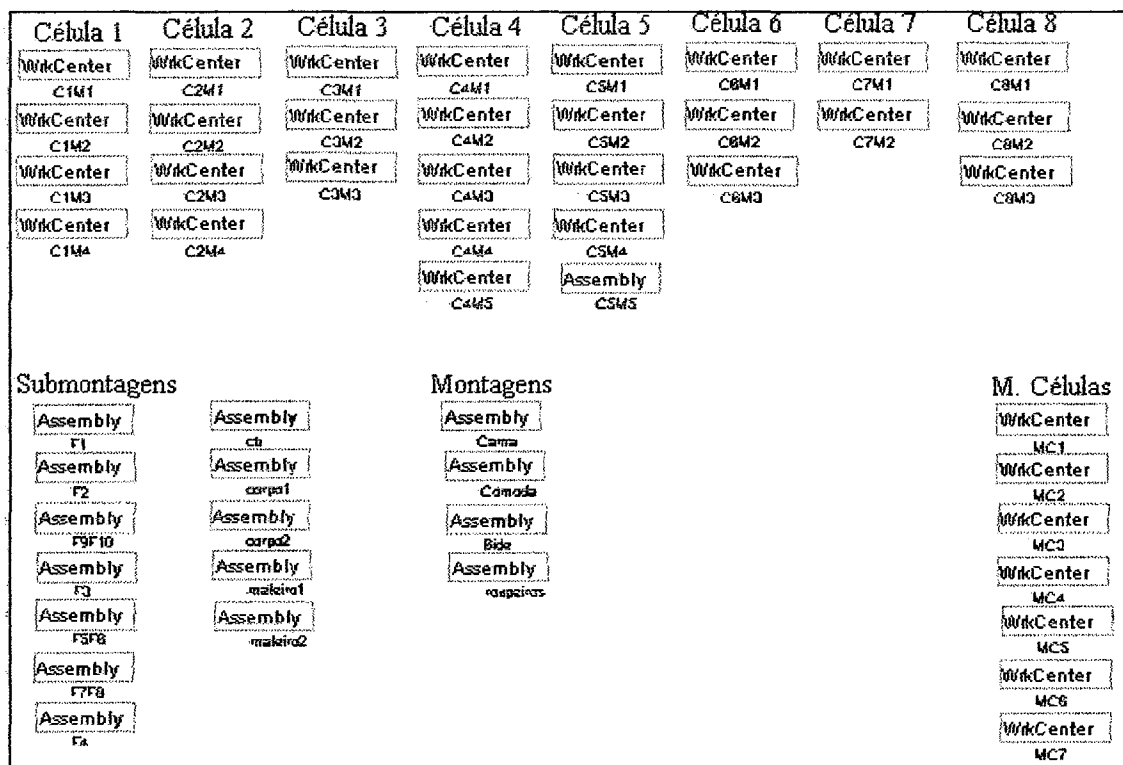


Figura 4.7 Blocos utilizados para compor a lógica principal do modelo de simulação.

A lógica principal, onde estão relacionados os agrupamentos de máquinas, máquinas célula, postos de submontagem e montagem final está apresentada na figura 4.7.

A Figura 4.8 apresenta o ambiente de animação do modelo, onde estão dispostas sobre o desenho do layout focalizado as máquinas, filas, pontos de estocagem e os caminhos percorridos pelos elementos fabricados (criados) dentro do modelo.

Como mencionado no item 4.5.3 o modelo foi simplificado em função da sua complexidade e do elevado tempo da simulação, a fim de permitir que se pudesse obter resultados a partir desta ferramenta neste estudo de caso.

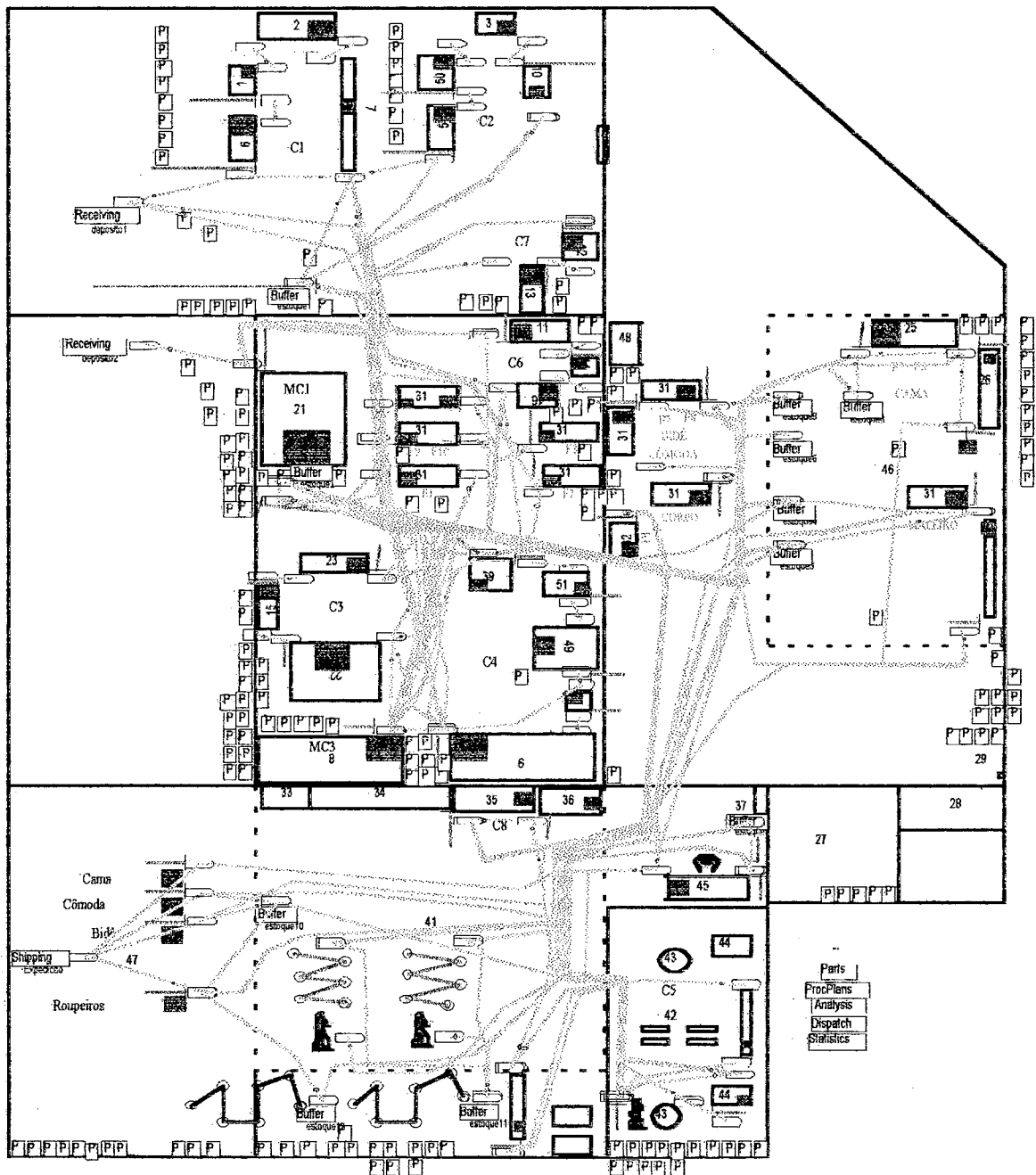


Figura 4.8 Representação do ambiente de animação do modelo.

Desta forma, foi possível se estudar bem as alterações ocorridas nos indicadores para a fabricação do bidê, as quais certamente ocorrerão para os demais produtos. Esta simplificação, todavia não diminui a relevância da evolução apresentada neste sistema focalizado em termos de redução de “lead time” de produção, dos estoques em processo e da melhor utilização do espaço físico, além de outros pontos que serão analisados nas próximas seções do trabalho.

#### 4.7.1 Definição dos Parâmetros do Modelo

Os primeiros parâmetros definidos para o modelo foram o posicionamento das máquinas e a conseqüente distância entre elas. A definição destes parâmetro ocorreu na etapa de elaboração do projeto de layout focalizado. Os demais parâmetro definidos para o modelo são os seguintes:

- intervalo entre produção de itens: o intervalo entre produção para os produtos finais foi calculado em função das estatísticas mensais de demanda para cada um dos produtos. Para tanto bastou dividir-se o tempo de produção diário disponível, pelo número de itens que deve ser produzido diariamente. O resultado deste cálculo esta apresentado na Tabela 4.6.

Item	Quantidade Diária	Segundos Disponíveis	Intervalo entre Produção (seg)
Roupeiros	10,83	33.300	3.075
Cama	3,83	33.300	8.695
Cômoda	0,77	33.300	43.247
Bidê	4,84	33.300	6.880

Tabela 4.6 *Cálculo do intervalo entre produção de cada item*

Este intervalo vai definir de quanto em quanto tempo deve ser puxada a produção de um determinado item dentro do modelo de simulação.

- tamanho de lote: foi definido pelo fracionamento das necessidades diárias de peças ou subconjuntos, ponderado em função do lead time para a fabricação do item, a partir dos dados apresentados na planilha de previsão de materiais (anexo II). Os tamanhos de lote definidos para o modelo foram bastante reduzidos em comparação com os utilizados atualmente pela empresa;
- transporte: este trabalho não teve como objetivo aprofundar as análises a respeito de transporte, tanto interno nas células quanto entre as células de manufatura. Em função disso os tempos para deslocamento de materiais entre as células foram calculados à partir da média das distâncias percorridas e da velocidade média de um operário transportando material.
- tempo de “warmup”: esta variável deve ser definida de forma que os dados coletados a partir da execução da simulação não sejam afetados pelo período de tempo em que o

sistema opera fora da condição de regime. Para este estudo foi definido em um mês de produção, ou 699.300 segundos;

- duração da simulação: este tempo deve ser o suficiente para que sejam coletados dados estatisticamente confiáveis para se realizar a avaliação do sistema em estudo. O tempo utilizado para se avaliar o sistema foi de dez meses de produção (6.993.000 segundos), mais o tempo de “warmup” (699.300 segundos), totalizando 7.692.300 segundos.

Com a definição destes parâmetros o modelo pode ser então rodado uma primeira vez. Após a análise dos resultados apresentados pelo modelo os parâmetros puderam ser alterados, até que se chegasse a um resultado satisfatório, à partir dos objetivos planejados.

#### **4.7.2 Verificação e Validação do Modelo**

O modelo foi construído de forma progressiva, de modo que a cada acréscimo de um recurso no sistema ou de um roteiro para “fabricação” de uma nova peça o modelo era rodado e, através da animação, observava-se o funcionamento do modelo. A diferenciação das peças foi feita com a utilização de cores variadas.

Desta forma o modelo foi sendo verificado e validado buscando-se a garantia de confiabilidade dos resultados de “saída” do modelo, o que torna significativos os resultados obtidos.

#### **4.7.3 Cálculo das Medidas de Desempenho**

Nesta seção as medidas de desempenho foram calculadas de acordo com os dados definidos no projeto de layout focalizado e nos relatórios de simulação gerados à partir do ARENA ®.

As medidas de desempenho avaliadas, logicamente, são as mesmas definidas na seção 4.4.4 e estão calculadas abaixo:

1. Tempo de passagem: medido como o tempo demandado para a fabricação de um produto final. Seu valor, para a fabricação do bidê, foi retirado do relatório de simulação e está expresso abaixo:

$$MD1 = 10:38 \text{ (horas: minutos)}$$

A Figura 4.9, gerada a partir do “output analyzer” do ARENA ®, indica que através do tratamento estatístico dos dados resultantes da simulação, este valor para “lead time” de fabricação do bidê está dentro de um intervalo de confiança de 95%.

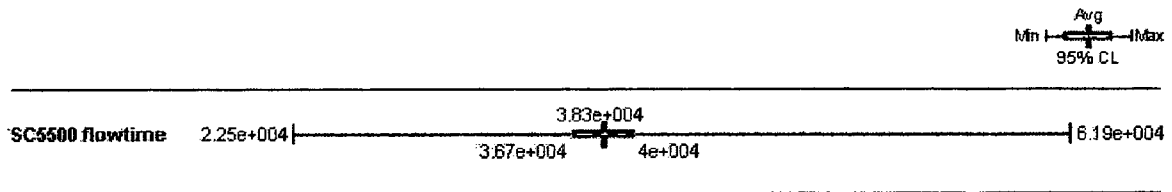


Figura 4.9 - Intervalo de confiança para os "lead times" do bidê.

2. Estoque em processo: como os tamanhos de lote dentro da produção focalizada foram reduzidos para um padrão diário de consumo e, os tempos de passagem baixaram drasticamente, os estoques em processo (WIP) sofreram uma redução acentuada. Além disso, com a evolução do sistema de puxar a produção, via "kanbans", a tendência é se aumentar o giro dos estoques, permitindo a redução ainda maior destes estoques. O valor definido para esta medida de desempenho, calculada segundo a equação 4.1, é o seguinte:

$$MD2 = (64 \times 638)/555 = 73,6 \text{ unidades/periodo}$$

3. Taxa de utilização do espaço físico: como não buscou-se na simulação um aumento da produção diretamente, esta medida de desempenho está medindo exatamente a redução da necessidade de espaço físico pela diminuição dos lotes e agrupamento das máquinas nas células. O valor desta medida de desempenho neste cenário é o seguinte:

$$MD3 = 666.7/104 = 6,41 \text{ m}^2/\text{unidade}$$

Com os valores das medidas de desempenho definidos para o sistema de produção atual e o proposto, podemos analisar as vantagens oferecidas pela focalização da produção com células de manufatura.

## 4.8 Análise dos Resultados da Aplicação do Modelo

Através dos resultados obtidos foi possível se detectar uma significativa melhoria de performance no sistema de produção com a aplicação do modelo para a focalização da produção com células de manufatura. A seguir, vamos apresentar os aspectos principais onde estas melhorias ocorreram, de acordo com os objetivos planejados:

- **redução da complexidade do processo produtivo:** através da comparação entre o fluxo de processo que ocorre no layout atual da empresa (Figura 4.2) e que deverá ocorrer no layout focalizado com células de manufatura (Figura 4.6), podemos perceber uma sensível redução na complexidade do fluxo de produção. Além disso, como apresentado na seção 4.6.3, com a utilização do layout focalizado há uma redução de 67% nas paradas em estoques intermediários nos processos de fabricação do montante da porta e de 46% na montagem e acabamento da porta dos roupeiros;

- **redução do tempo de fabricação dos itens:** como pode ser constatado pela comparação da medida de desempenho do tempo de passagem, para o sistema atual e o focalizado, com relação ao produto final bidê, constatamos uma redução de aproximadamente 71% no tempo de fabricação. Prevendo uma redução proporcional a esta para todos os outros produtos, certamente a empresa vai poder atender de forma bem mais rápida os seus clientes, aumentando o seu poder de competitividade no mercado;
- **redução nos estoques em processo:** com a utilização das células de manufatura e a diminuição das esperas por processo ou transporte, há uma transformação bem mais rápida da matéria-prima em produtos finais. Por si só isto já força uma redução nos estoques pelo aumento do seu giro. Além disso, pode-se observar que no sistema focalizado a medida de desempenho estoque em processo, baseada neste caso no tamanho dos lotes e no tempo de passagem, sofre uma redução de mais de 30 vezes;
- **melhor aproveitamento do espaço físico:** a medida de desempenho taxa de utilização do espaço físico nos define um ganho de aproximadamente 21% do espaço físico para utilização para o aumento da produção ou instalação de novas famílias de produtos quando necessário.

Pelos resultados medidos com o auxílio da simulação computacional para os dois sistemas, podemos ter certeza de que a utilização da focalização da produção com células de manufatura realmente oferece um incremento substancial ao desempenho dos sistemas produtivos.

Durante a execução das etapas anteriores à simulação computacional, propostas no modelo, ocorreram algumas melhorias práticas importantes no sistema produtivo da empresa. Estas melhorias foram as seguintes:

- **simplificação do controle de materiais:** através da substituição das operações de controle de materiais realizadas manualmente, pela planilha computacional para controle de materiais (descrita no anexo II), ocorreu simplificação e agilização nos processos de PCP;
- **melhoria da qualidade nos processos:** a partir da criação do conceito de cliente/fornecedor entre os trabalhadores e, da utilização de planilhas nos postos de trabalho para se fazer o registro do número de refugos e retrabalhos ocorridos, foi possível se detectar uma melhoria significativa na qualidade das operações realizadas na empresa;
- **motivação da mão-de-obra:** com a melhoria da qualidade nos itens produzidos pela empresa, principalmente em função da introdução do conceito de cliente/fornecedor, foi possível se detectar uma grande motivação por parte dos trabalhadores na realização das suas atividades.

## 4.9 Implantação do Layout e Gerenciamento do Sistema

Após a avaliação dos ganhos medidos pela simulação computacional e pelas melhorias práticas ocorridas na empresa ao longo da aplicação do modelo proposto, os passos seguintes a serem dados são a implantação do layout focalizado e o gerenciamento do sistema.

Em função do tempo necessário para se realizar todo o processo de implantação do layout focalizado na empresa, não será possível se descrever esta etapa nesta dissertação, conforme definido nas limitações do trabalho (seção 1.4). Todavia, as seguintes vantagens podem ser esperadas após a implantação completa do modelo:

- **redução dos tempos de espera na fila, de setup e de movimentação:** como consequência da aproximação das máquinas no layout celular e do processamento de famílias de peças, todos estes tempos envolvidos no processo produtivo devem ser reduzidos;
- **estímulo a polivalência de funções:** com o trabalho dentro das células deverá ocorrer um estímulo a polivalência das funções, com os trabalhadores assumindo as responsabilidades pela produção, qualidade, manutenção, movimentação, etc. Com a troca de posições dentro das células diminuirá a monotonia do trabalho, ocorrendo também a motivação dos operários;
- **flexibilidade na capacidade de produção:** em função da utilização das células de manufatura operando de acordo com o tempo de ciclo, as alterações na demanda por produtos, poderão ser absorvidas pelo sistema produtivo através do aumento ou diminuição dos operadores nas células;
- **facilidade de adequação do layout as instalações:** o formato em “U” das células permitirá que elas possam ser comprimidas ou expandidas para se enquadrarem as dimensões da empresa, evitando gastos com novas instalações.

Definidos os resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta a fábrica Móveis Nino Ltda., dentro das limitações definidas no capítulo 1 do trabalho, no capítulo seguinte serão apresentadas as considerações finais e recomendações para os próximos trabalhos.



## *Capítulo 5*

# **Conclusões e Recomendações para os Próximos Trabalhos**

### **5.1 Conclusões**

Este trabalho objetivou a apresentação de um modelo estruturado em passos claros, para a focalização da produção com células de manufatura em empresas que operam com sistemas de produção repetitivos em lotes. Como ferramenta de avaliação para as alterações propostas com a aplicação do modelo, foi utilizada a simulação computacional. Além disso, foi apresentado um estudo de caso de utilização do modelo em uma empresa moveleira do interior catarinense.

Para suportar o trabalho, do ponto de vista teórico, no capítulo de revisão bibliográfica foi apresentada a posição da produção focalizada com células de manufatura dentro da produção Just-in-Time (JIT), salientando-se a necessidade de complementação desta ferramenta com as demais, propostas no JIT, a fim de se obter resultados realmente superiores. Os passos que devem ser seguidos para a realização de estudos envolvendo simulação e alguns exemplos de sua aplicação na manufatura também foram abordados. Na

parte final do capítulo foram apresentados diversos artigos recentes mostrando que pontos estão sendo estudados em outros grupos de pesquisa a respeito da produção focalizada. Da análise destes artigos percebeu-se a ausência de um modelo bem estruturado que pudesse orientar a introdução desta ferramenta nas empresas, o que motivou tal projeto para este trabalho.

O modelo para a focalização da produção com células de manufatura foi então apresentado no capítulo 3. Este modelo parte da estruturação de um grupo de trabalho para a condução da aplicação do modelo e, vai até a apresentação do modo ideal para o gerenciamento da produção focalizada com células de manufatura, o qual está baseado no ciclo PDCA proposto pela filosofia do TQC.

Durante a aplicação do modelo, o grupo de trabalho encarregado da sua condução vai passar por uma etapa de “Análise do Sistema de Produção Atual”, onde deverão ser avaliadas questões relativas a demanda de mercado pelos produtos ofertados pela empresa, capacidade produtiva instalada, tempos envolvidos para o atendimento dos clientes, racionalidade do layout utilizado, estoques em processo, perdas do sistema, dentre outras. Certamente o estudo destes pontos vai dar ao grupo uma segurança grande na busca dos objetivos e, a compreensão da necessidade das mudanças propostas pela focalização da produção na busca de competitividade.

A simulação computacional é proposta no modelo como ferramenta de avaliação para o agrupamento definido na etapa de “Projeto do Layout” e, para a definição de forma dinâmica, de alguns parâmetros do sistema. A simulação oferece a grande vantagem de possibilitar o estudo sem a necessidade de alterações físicas nas empresas. Porém, para a utilização desta ferramenta alguns aspectos devem ser avaliados, tais como: o software a ser utilizado no projeto; as características dos equipamentos (computadores) disponíveis para a realização do estudo e; o nível de domínio da ferramenta apresentado pelos analistas que vão participar do projeto.

No capítulo 4 foi apresentado um estudo de caso de uma empresa moveleira onde o modelo foi aplicado. Do estudo foi possível se demonstrar o potencial de redução da complexidade do fluxo produtivo proporcionado pela focalização da produção com células de manufatura. Além disso, baseado nos valores obtidos para as medidas de desempenho, calculadas através dos dados retirados da simulação computacional, pôde-se prever uma sensível redução nos tempos de fabricação dos itens e nos estoques em processo do sistema, de forma conjunta a um melhor aproveitamento do espaço físico disponível.

De forma prática, ao longo do trabalho de aplicação da metodologia, constatou-se uma simplificação no controle de materiais, melhoria da qualidade nos processos executados na empresa e, um incremento na motivação da mão-de-obra. Isto permite uma avaliação extremamente positiva sobre o impacto causado pela utilização deste modelo nas empresas.

A seguir, serão apresentados diversos pontos que devem ser pesquisados a fim de se complementar os tópicos abordados neste trabalho, de forma a se facilitar a introdução da produção JIT nas empresas que buscam performance de “classe mundial”.

## 5.2 Recomendações para os Próximos Trabalhos

A focalização da produção com células de manufatura é um tema bastante abrangente, havendo uma série de outros fatores que devem ser pesquisados de forma a se enriquecer os aspectos abordados neste trabalho, a fim de que esta importante ferramenta da engenharia de produção seja utilizada de forma mais intensa na indústria. Pode-se recomendar os seguintes pontos para estudos futuros:

- **dimensionamento do transporte intercelular:** está é uma questão muito importante dentro do sistema de produção e o estudo de formas adequadas para a sua definição é bastante relevante;
- **análise da ferramenta utilizada para se puxar a produção:** neste trabalho a lógica utilizada no modelo simulado para se puxar a produção foi o ponto de pedido ou “reorder point”. A avaliação das modificações no sistema produtivo com a utilização do “kanban” é bastante interessante;
- **dispositivos “poka yoke” e automação na produção focalizada:** a utilização de dispositivos “poka yoke”, dentro do conceito de automação, é muito importante no sentido de otimizar o controle da qualidade nas unidades de produção e de facilitar o deslocamento dos operadores nas células de manufatura. O estudo das melhorias obtidas com a utilização destes dispositivos em sistemas de produção focalizados com células de manufatura trará boas contribuições;
- **aplicação do modelo proposto em empresas de outros setores:** a fim de se ampliar o conhecimento a respeito da viabilidade de utilização da focalização da produção com células de manufatura em outros setores industriais, pode-se aplicar o modelo proposto em outras empresas;
- **operadores polivalentes:** os operadores polivalentes proporcionam ganhos de flexibilidade e de produtividade da mão-de-obra significativos nas empresas que adotam esta forma de trabalho, combinada as células de manufatura. Questões como a melhor método de treinamento dos trabalhadores na busca da polivalência e, formas de remuneração por habilidades são pontos que devem ser estudados dentro desta área;
- **padronização das operações:** a sintonia da demanda com o sistema produtivo é obtida através da padronização das operações em função dos “tempos de ciclo”. A proposição de um modelo prático para se montar as “folhas de operação padrão” irá contribuir bastante com o processo de focalização da produção com células de manufatura;
- **métodos de manutenção em sistemas focalizados com células de manufatura:** a medida que os equipamentos e os sistemas produtivos vão se sofisticando e buscando a eliminação total das perdas, a necessidade de se contar com os equipamentos em condição de operação na totalidade do tempo disponível para a produção passa a ser fundamental. A análise do impacto da manutenção sobre os sistemas focalizados passa, então, a ser muito relevante;

- **alterações no PCP das empresas com sistemas focalizados com células de manufatura:** dentro desta área há uma série de questões que podem ser estudadas, tais como: qual sistema de controle de produção que deve se usar ?; como se definir os tamanhos de lote a serem utilizados?; como se tratar o seqüenciamento de processo nos recursos ?; etc.
- **evolução dos sistemas de manufatura para plantas FMS:** a tecnologia de produção FMS (sistemas flexíveis de manufatura) tende a um processo contínuo de evolução até o momento que se torne preponderante no cenário industrial. O estudo das questões relativas a este sistemas passam a ser até mesmo estratégicas para o desenvolvimento industrial.

## 6. Referências Bibliográficas

[Al-Shaghana] AL-SHAGHANA, K. **The problems associated with the implementation of cellular manufacturing in a traditional environment and a framework to overcome these problems** Proceedings of: The 14th international conference on Production Research, August 4-8, Osaka, 1997.

[Arvinth 94] ARVINDH, B. - IRANI, S. A. **Cell formation: the need for an integrated solution of the subproblems** International Journal of Production Research, vol. 32, n.º 5, pp. 1197-1218, 1994.

[Baxter 93] BAXTER, L. - JOHNSON, M. E. **Don't implement before you validate!** Industrial Engineering, February, pp. 60-62, 1993.

[Bischak 95] BISCHAK, D. P. **Performance of a manufacturing module with moving workers** IIE Transactions, vol. 28, pp. 723-733, 1996.

[Black 91] BLACK, J. T. **The design of the factory with a future** Auburn, McGraw-Hill, 1991.

[Boucher 84] BOUCHER, T. O. - MUCKSTADT, J. A. **Cost estimating methods for evaluating the conversion from a functional manufacturing layout to group technology** IIE Transactions, vol. 17, n.º 3, pp. 268 - 276, 1984.

[Choi 92] CHOI, M. J. **Manufacturing cell design** Production and Inventory Management Journal, second quarter, pp. 66-69, 1992.

[Choi 96] CHOI, M. J. **An exploratory study of contingency variables that affect the conversion to cellular manufacturing systems** International Journal of Production Research, vol. 34, n.º 6, pp. 1475-1496, 1996.

[Chow 93] CHOW, W. S. - HAWALESHKA, O. **A novel machine grouping and knowledge-based approach for cellular manufacturing** European Journal of Operational Research, n.º 69, pp. 357-372, 1993.

[Crama 96] CRAMA, Y. - OOSTEN, M. **Models for machine part grouping in cellular manufacturing** International Journal of Production Research, vol. 34, n.º 6, pp. 1693-1713, 1996.

[Danni 96] DANNI, T. S. - TUBINO, D. F. **Avaliação operacional no ambiente just-in-time** Anais do 16.º ENEGEP, 7-10 de Outubro, Piracicaba, 1996.

[Danni 97] DANNI, T. S. **Ajuste e estudo do sistema kanban auxiliado pela simulação computacional** Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

[Dvorak 95] DVORAK, P. **Planning for peak production** Machine Design, Março, pp. 124-127, 1995.

[Fattouch 89] FATTOUCH, N. G. **Metodologia para alteração do arranjo físico do setor produtivo de pequenas e médias empresas** Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1989.

[Ghinato 96] GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente just-in-time** Caxias do Sul, EDUCS, 1996.

[Goh 97] GOH, H. **Maintenance policy on cellular manufacturing system** Proceedings of: The 14th international conference on Production Research, August 4-8, Osaka, 1997.

[Gupta 93] GUPTA, T. - LEELAKET, S. **A simulation study comparing GT vs. Job Shop manufacturing systems** Computers and Industrial Engineering, vol. 25, numbers 1-4, pp. 195-198, 1993.

[Harmon 91] HARMON, R. L. **Reinventando a fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática** Rio de Janeiro, Campus, 1991.

[Heragu 94] HERAGU, S. S. **Group technology and cellular manufacturing** IEEE Transactions on Systems, vol. 24, n.º 2, pp. 203-215, 1994.

[Kannan 97] KANNAN, V. R. **A simulation analysis of the impact of family configuration on virtual cellular manufacturing** Production Planning & Control, vol. 7, n.º 1, pp. 14-24, 1997.

[Kuroda 97] KURODA, M - TOMITA, T - MAEDA, K. **Dynamic control of a cellular-line production system under varying product mix** Proceedings of: The 14th international conference on Production Research, August 4-8, Osaka, 1997.

[Levasseur 95] LAVASSEUR, G. A. - HELMS, M. M. - ZINK, A. A. **Conversion from a functional to a cellular layout at Steward, inc.** Production and Inventory Management Journal, third quarter, pp. 37-42, 1995.

[Lin 94] LIN, Y. J. - MANDALINICH, M. **An implementation of drive key cellular manufacturing** *International Journal Machine Tools Manufacturing*, vol. 34, n.º 1, pp. 43-54, 1994.

[Lorini 93] LORINI, F. **Tecnologia de grupo e organização da manufatura** Florianópolis, Ed. da UFSC, 1993.

[Loureiro 95] LOUREIRO, F. M. **Desenvolvimento de um gerador de “scheduling” para uma indústria de produção sob encomenda: uma abordagem baseada no uso de controladores difusos e algoritmos genéticos** Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

[Lubben 89] LUBBEN, R. T. **Just-in-time: uma estratégia avançada de produção** São Paulo, McGraw-Hill, 1989.

[Mirshawka 94] MIRSHAWKA, V. - OLMEDO, N. L. **TPM à moda brasileira** São Paulo, Makron Books, 1994.

[Monden 84] MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção** São Paulo, IMAM, 1984.

[Moreira 96] MOREIRA, D. A. **Dimensões do desempenho em manufatura e serviços** São Paulo, Pioneira, 1996.

[Muther 78] MUTHER, R. **Planejamento do layout: sistema SLP** São Paulo, Edgard Blücher, 1978.

[Nakajima 89] NAKAJIMA, S. **TPM development program** Massachusetts, Productive Press, 1989.

[Ohno 96] OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala** Porto Alegre, Bookman, 1997.

[Olorunniwo 96] OLORUNNIWO, F. O. **Changes in production planning and control systems with implementation of cellular manufacturing** *Production and Inventory Management Journal*, first quarter, pp. 65-70, 1996.

[Pegden 90] PEGDEN, C. D. - SHANNON, R. E. - SADOWSKI, R. P. **Introduction to simulation using SIMAN** New Jersey, McGraw-Hill, 1990.

[Rodrigues 96] RODRIGUES, L. H. **Tópicos básicos de simulação computacional** Porto Alegre, UFRGS, 1996.

[Sengupta 95] SENGUPTA, S. - COMBES, R. **Simulating Kraft manufacturing** *IIE Solutions*, August, pp. 30-35, 1995.

- [Shafer 91] SHAFER, S. M. - CHARNES, J. M. **Cellular versus functional layouts under a variety of shop operating conditions** Decision Sciences, vol. 24, n.º 3, pp. 665-681, 1991.
- [Silveira 94] SILVEIRA, G. J. C. da **Uma metodologia de implantação da manufatura celular** Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- [Singh 93] SINGH, N. **Design of cellular manufacturing systems: an invited review** European Journal of Operational Research, vol. 69, pp. 284-291, 1993.
- [Shingo 96a] SHINGO, S. **Sistemas de produção com estoque zero: o Sistema Shingo para melhorias contínuas** Porto Alegre, Bookman, 1996.
- [Shingo 96b] SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção** Porto Alegre, Bookman, 1997.
- [Schonberger 88] SCHONBERGER, R. J. **Fabricação classe universal: as lições de simplicidade aplicadas** São Paulo, Pioneira, 1988.
- [Song 96] SONG, S. J. - HITOMI, K. **Interating the production planning and cellular layout for flexible cellular manufacturing** Production Planning & Control, vol. 7, n.º 6, pp. 585-593, 1996.
- [Taylor 90] TAYLOR, F. W. **Princípios de administração científica** São Paulo, Atlas, 1990.
- [Thorn 96] THORN, R. **Cellular solutions: some considerations for cellular manufacturing** Sheet Metal Industries, March, pp. 9-10, 1996.
- [Tubino 97] TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção** São Paulo, Atlas, 1997.
- [Wemmerlöv 97] WEMERLÖV, U. - JOHNSON, D. J. **Cellular manufacturing at 46 user plants: implementation experiences and performance improvements** International Journal of Production Research, vol. 35, n.º 1, pp. 29-49, 1997.
- [Womack 92] WOMACK, J. P. **A máquina que mudou o mundo** Rio de Janeiro, Campus, 1992.
- [Youssef 94] YOUSSEF, M. A. **Measuring the intensity level of just-in-time activities and its impact on quality** International Journal of Quality & Reliability Management, vol. 11, n.º 5, pp. 59-80, 1994



# *Anexo I*

## **Sistema de Codificação**

### **1. Construção do Código**

A fim de organizar a totalidade dos diferentes elementos presentes na fábrica, desenvolvemos um sistema de codificação que passa a dar uma identidade única para cada um destes elementos. O código é composto de quatro dígitos, todos numéricos, os quais foram definidos para agrupar elementos de mesma função, o que está de acordo com os sistemas de codificação derivados da tecnologia de grupo. A representação esquemática está apresentada na Figura A1.1.

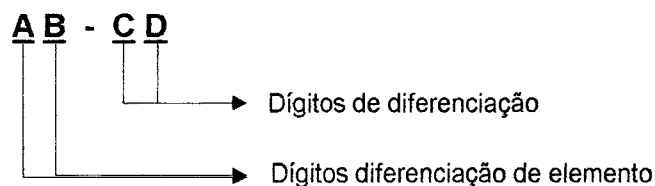


Figura A1.1 *Esquema de codificação para os diferentes elementos da fábrica.*

Os elementos que foram definidos neste sistema de codificação são os seguintes:

1. Peças avulsas: são todas as peças fabricadas internamente, as quais serão utilizadas nos subconjuntos e montagens para formar junto com os materiais os conjuntos finais. Neste caso, os dois primeiros dígitos (A,B) indicam o tipo de peça (variam de 10 à 30) e, os dois últimos dígitos (C,D) diferenciam as peças do mesmo tipo (podem variar de 00 à 99). Na Tabela A1.1 estão apresentados todos os tipos de grupos de peças avulsas.

Peças	Código
Acabamento	10.CD
Almofadinha	11.CD
Apoio	12.CD
Baguete	13.CD
Base	14.CD
Central	15.CD
Chapa	16.CD
Divisão	17.CD
Frontal	18.CD
Furado	19.CD
Inferior	20.CD
Lateral	21.CD
Montante	22.CD
Peça Cama	23.CD
Pé	24.CD
Sarrafo	25.CD
Suporte	26.CD
Tampa	27.CD
Travessa	28.CD
Vara	29.CD
Vazado	30.CD

Tabela A1.1 Codificação dos tipos de peças avulsas.

Abaixo apresentamos exemplos de códigos utilizados na fábrica para as peças avulsas:

- chapa da porta grande 16.00
- divisão da cômoda capelinha 17.06
- lateral do rodapé 21.00
- sarrafo de prateleira 25.02

2. Subconjuntos: são agregados de peças avulsas e materiais que serão utilizados nas montagens, juntamente com algumas peças avulsas e materiais, para formar os conjuntos finais. Na codificação dos subconjuntos o primeiro dígito (A) indica que se trata de um subconjunto, sendo representado pelo número 5. O segundo dígito (B) indica a que grupo pertence o subconjunto (pode variar de 0 à 9). Finalmente, os dois últimos dígitos (C,D) diferenciam os subconjuntos do mesmo grupo (podem variar de 00 à 99). Os grupos representados por este código estão relacionados na Tabela A1.2.

<b>Subconjunto</b>	<b>Código</b>
Corpo dos roupeiros	50.CD
Maleiro dos roupeiros	51.CD
Corpo/maleiro dos roupeiros	52.CD
Cama	53.CD
Cômoda	54.CD
Bidê	55.CD

Tabela A1.2 *Codificação dos tipos de subconjuntos.*

Abaixo apresentamos exemplos de códigos utilizados na fábrica para subconjuntos:

- porta grande 50.07
- lateral pequena 51.06
- quadro do roupeiro de 2 portas 52.00
- cabeceira da cama 53.00
- gaveta da cômoda 54.01
- tampa superior do bidê 55.03

3. Montagens: são todos os processos de montagem, que vão gerar os subconjuntos e conjuntos finais. O número seis no primeiro dígito (A) do código, indica que se trata de uma montagem. O segundo dígito (B) indique o tipo de produto (pode variar de 0 à 9). Os dois últimos dígitos (C,D) permitem a diferenciação das peças de um mesmo grupo (podem variar de 00 à 99). A Tabela A1.3 apresenta os grupos que estão representados por este código.

<b>Montagem</b>	<b>Código</b>
Corpo dos roupeiros	60.CD
Maleiro dos roupeiros	61.CD
Cama	63.CD
Cômoda	64.CD
Bidê	65.CD

Tabela A1.3 *Codificação das montagens.*

Abaixo apresentamos exemplos de códigos utilizados na fábrica para as montagens:

- montagem do corpo do roupeiro de duas portas 60.02
- montagem do maleiro do roupeiro de cinco portas 61.11
- montagem da cama capelinha 63.00
- montagem 2 da cômoda capelinha 64.01
- montagem do bidê capelinha 65.00

4. Conjuntos finais: são os produtos finais fabricados pela empresa. No caso do Dormitório Capelinha o produto final é composto por outros três produtos (Roupeiro, Cama, Cômoda e Bidê Capelinha). Aqui, o primeiro dígito (A) igual a nove identifica que se trata de um produto final. O segundo dígito (B) indica o tipo de produto final. Os dois últimos dígitos servem como diferenciadores para produtos do mesmo tipo. A Tabela A1.4 relaciona os conjuntos finais.

Conjunto Final	Código
Roupeiros	90.CD
Camas	93.CD
Cômodas	94.CD
Bidês	95.CD
Dormitórios	99.CD

Tabela A1.4 Codificação dos conjuntos finais.

Abaixo apresentamos exemplos de códigos para os conjuntos finais:

- roupeiro de duas portas 90.02
- roupeiro de três portas 90.03
- roupeiro de quatro portas 90.04
- roupeiro de cinco portas 90.05
- roupeiro de seis portas 90.06
- roupeiro capelinha 90.07
- cama capelinha 93.00
- cômoda capelinha 94.00
- bidê capelinha 95.00

5. Materiais: são os insumos utilizados pela empresa, comprados de terceiros. Estes produtos são indicados pelo número oito, presente no primeiro dígito do código (A). O segundo dígito do código (B) indica o grupo do material. Os dois últimos dígitos (C,D) servem para diferenciar os materiais de tipos diferentes mas de mesmo grupo. A Tabela A1.5 mostra a estrutura destes códigos.

Material	Código
Parafusos	80.CD
Pregos	81.CD
Diversos	82.CD

Tabela A1.5 Codificação dos materiais.

Abaixo apresentamos exemplos de códigos utilizados na fábrica para os materiais:

- parafuso 3.5x25 80.01
- prego 13x15 81.05
- verniz 82.11

## *Anexo II*

# **Controle de Materiais**

### **1. Planilha para Controle de Materiais**

A fim de facilitar o processo de definição dos tamanhos de lote para cada componente produzido na fábrica foi desenvolvida uma página que exhibe as quantidades totais de cada componente necessárias para a produção de uma determinada quantidade de produtos finais. Esta página foi criada à partir da indexação das planilhas onde estão definidas as árvores dos produtos fabricados na empresa, elaboradas no software Excel ®.

Este “produto” pode ser utilizado pela empresa como um auxiliar na definição das necessidades de materiais para o cumprimento de um determinado plano de produção, seja ele de periodicidade diária, semanal ou mensal. Na Tabela A2.1 abaixo está apresentada uma parte desta página.

RP2p	0,07	RP4p	4,63	RP6p	1,18	Cama	3,83	Bidê	4,84
RP3p	2,15	RP5p	0,24	RPC	2,56	Cômoda	3,77		

Peça	Quantidade
10,00	2,56
11,00	139,84
12,00	
13,00	9,45
13,01	5,12
13,02	7,68
14,00	12,01
14,01	22,62
15,00	9,38
15,01	10,24
16,00	87,26
16,01	59,24
16,02	56,70
16,03	48,75
16,04	21,66
16,05	11,69
16,06	11,69
16,07	9,50
16,08	9,50
16,09	5,12
16,10	5,12
16,11	3,77
16,12	3,83
16,13	7,66
16,14	9,68
16,15	
16,16	4,84
16,17	9,68
16,18	15,08
16,19	0,76
16,20	10,24
16,21	13,80
16,22	18,52
16,23	0,48
16,24	2,36
16,25	5,12
16,26	0,31
16,27	2,56
16,28	0,07
16,29	4,75
16,30	2,15
16,31	4,63
16,32	4,63
16,33	0,24
16,34	1,18
16,35	2,56
17,00	14,32
17,01	23,70
17,02	9,38
17,03	8,61
17,04	14,22
17,05	5,12
17,06	11,31
17,07	4,84
18,00	0,07
18,01	0,07
18,02	2,15
18,03	2,15
18,04	4,63
18,05	4,63
18,06	0,24
18,07	2,60
18,08	0,24
18,09	1,18
18,10	5,12
18,11	2,56
18,12	15,08

Peça	Quantidade
21,00	37,16
21,01	1,52
21,02	12,40
21,03	24,02
21,04	27,60
21,05	37,04
21,06	23,38
21,07	4,72
21,08	20,48
21,09	10,24
21,10	5,12
21,11	30,16
21,12	7,54
21,13	7,66
21,14	19,36
21,15	9,68
22,00	87,26
22,01	18,90
22,02	97,50
22,03	43,32
22,04	15,08
22,05	15,08
22,06	19,36
22,07	9,68
23,00	3,83
23,01	3,83
23,02	22,98
24,00	3,83
24,01	3,83
25,00	12,01
25,01	12,01
25,02	21,25
25,03	35,07
25,04	28,50
25,05	15,36
25,06	33,93
25,07	91,92
25,08	9,68
26,00	7,66
27,00	15,08
27,01	9,68
28,00	87,26
28,01	43,63
28,02	59,24
28,03	29,62
28,04	18,90
28,05	47,25
28,06	246,58
28,07	48,04
28,08	61,44
28,09	5,12
28,10	26,39
28,11	22,62
28,12	45,96
28,13	19,36
28,14	19,36
28,15	14,52
29,00	0,07
29,01	2,56
29,02	9,38
30,00	12,01
50,03	12,01
50,04	12,01
50,05	9,45
50,06	29,62
50,07	43,63
50,08	11,69

Peça	Quantidade
51,03	0,24
51,04	1,18
51,05	2,56
51,06	21,66
51,07	48,75
51,08	11,69
51,09	2,36
51,10	5,12
52,00	0,76
52,01	13,80
52,02	18,52
53,00	3,83
53,01	3,83
53,02	7,66
53,03	3,83
54,00	22,62
54,01	15,08
54,02	7,54
54,03	7,54
54,04	3,77
54,05	3,77
55,00	9,68
55,01	9,68
55,02	4,84
55,03	4,84

Tabela A2.1 Página para planejamento de materiais.

A utilização deste aplicativo é bastante simples, sendo necessário somente que o usuário digite o número que deve ser produzido de cada produto final no cabeçalho da página, para que a quantidade de cada peça ou subconjunto necessário para o cumprimento desse plano de produção seja definida imediatamente ao lado do código de cada uma das peças.

Como esta planilha não foi desenvolvido com a finalidade de ser comercializado, a sua interface e o seu modo de funcionamento podem ser bastante melhorados, principalmente com a utilização de programação em Visual Basic sobre o Excel ®.