

Class
Curr.
Tempo

**"UM EXAME À PRÁTICA DO CONTROLE DE
PRODUÇÃO EM CÉLULAS DE MANUFATURA"**

MAURÍCIO DOS SANTOS FERREIRA

DEDALUS - Acervo - EESC



31100017827

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

Orientador: **Prof. Dr. MARINO DE OLIVEIRA RESENDE**

São Carlos, 1995.



Class.	Tese - EESC
Curr.	21802
Tombo	022/96

Eng. Mecânica

st 0744152

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

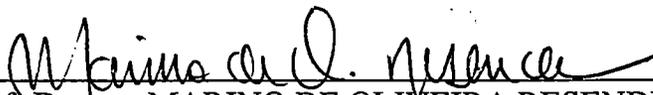
F383e
de
Ferreira, Maurício dos Santos
Um exame à prática do controle de produção em células
manufatura / Maurício dos Santos Ferreira.--São Carlos, 1995.
128p.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 1995.
Orientador: Prof. Dr. Marino de Oliveira Resende

1. Controle de produção. 2. Manufatura celular. I. Título

FOLHA DE APROVAÇÃO

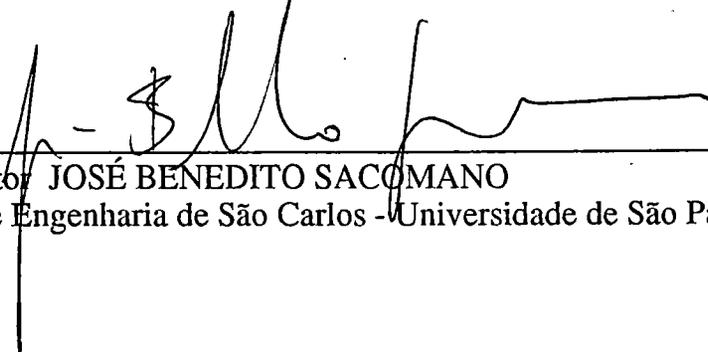
Dissertação defendida e aprovada em 30-11-1995
pela Comissão Julgadora:



Prof. Doutor MARINO DE OLIVEIRA RESENDE - Orientador
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



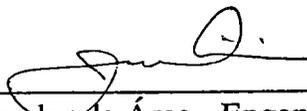
Prof. Doutor SILVIO ROBERTO IGNACIO PIRES
(Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP)



Prof. Doutor JOSÉ BENEDITO SACOMANO
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Presidente da Comissão de Pós-Graduação
Prof. Dr. MOUNIR KHALIL EL DEBS



Coordenador da Área - Engenharia Mecânica
Prof. Dr. JOÃO LIRANI

"À memória de meu pai,
Antônio Roberto dos Santos Ferreira,
que todos os esforços fez para
a educação de seus filhos."

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, ao orientador deste trabalho, Prof. Marino de Oliveira Resende, que cedeu seu conhecimento através da orientação precisa e segura, principalmente nos pontos mais difíceis do desenrolar da pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela concessão de uma bolsa de estudos, a qual possibilitou a manutenção das despesas pessoais e acadêmicas do autor durante boa parte do trabalho.

A minha mãe, Dirce, e a meu irmão, Ataliba, pela compreensão de minhas faltas, durante o período de estudos.

Ao pessoal da área de Engenharia de Produção da EESC, em particular ao funcionário Luiz Fernando, pela solidariedade no decorrer deste trabalho.

Aos Engenheiros Costa, da Elevadores Atlas e Josadak, da Sade-Viges, e a empresa Freios Varga, pela colaboração na pesquisa de campo.

E, é claro, a Deus, que permitiu tudo isso.

RESUMO

A Tecnologia de Grupo (GT) é uma metodologia relacionada com a manufatura que tem ganhado grande popularidade em todo mundo. Sua essência é tirar proveito das similaridades de tarefas de fabricação de um conjunto de peças. Uma particular aplicação de GT com um largo leque de implicações é a manufatura celular. Resumidamente, a manufatura celular está relacionada com a fabricação de um conjunto de peças em áreas de produção dedicadas, chamadas células de manufatura.

Este trabalho lida com os sistemas de planejamento e controle de produção e suas aplicações em manufatura celular. Um amplo estudo da matéria apoiado em uma extensa revisão bibliográfica deu suporte para a realização de uma pesquisa em três indústrias muito representativas em termos de usuárias de GT e em particular de células de manufatura. Suas experiências, problemas e lições aprendidas são apresentadas e analisadas.

Palavras-chaves: Planejamento, controle de produção, manufatura celular, Tecnologia de Grupo.

ABSTRACT

Group Tecnology is a manufacturing related methodology that is gaining great popularity in all world. The essence of GT is to capitalize on similarities between the manufacturing tasks for a group of parts. A particular application with wide-ranging implications is cellular manufacturing. Briefly, cellular manufacturing refers to the manufacture of part families in dedicated areas called manufacturing cells.

This work deals with production planning and control systems and their application to cellular manufacturing. A wide study of the topic based on an extensive bibliographical research gave the support for a field research in three very representative industries as users of GT and cellular manufacturing in particular. Their experiences, problems and insights learned are presented and discussed.

Key words: Planning, production control, cellular manufacturing, Group Tecnology.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVO DO TRABALHO.....	3
1.2 - CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO	4
2 - O AMBIENTE MODERNO DE FABRICAÇÃO	6
2.1 - INTRODUÇÃO	6
2.2 - ASPECTOS GERAIS DA TECNOLOGIA DE GRUPO	6
2.2.1 - Família e Formação de Família	8
2.2.2 - Célula de Manufatura	14
2.2.3 - Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS) 25	
2.2.3.1 - Introdução	25
2.2.3.2 - O PCP para um FMS	28
2.3 - OS MODERNOS SISTEMAS DE PLANEJAMENTO E	
CONTROLE A PRODUÇÃO	31
2.3.1 - A Estrutura Geral de Tomada de	
Decisões em Sistemas de Produção ..	31
2.3.2 - O "Just-In-Time" (JIT)	32
2.3.2.1 - O Nivelamento da Produção	
no Sistema JIT	37
2.3.2.2 - O Sistema KANBAN	39
2.3.3 - O Sistema MRP/MRPII	47
2.3.3.1 - Introdução	47
2.3.3.2 - Estrutura Funcional do	
Sistema	50
2.3.4 - O Sistema OPT	58
2.3.4.1 - Introdução: A Teoria das	
Restrições	58
2.3.4.2 - O OPT	62
2.3.5 - A Integração dos Sistemas de Gestão	
da Produção	67
2.3.5.1 - JIT com MRP	68
2.3.5.2 - MRP com TG	71

3 - O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO PARA CÉLULAS DE MANUFATURA	73
3.1 - INTRODUÇÃO	73
3.2 - PROGRAMAÇÃO E CONTROLE VIA KANBAN	74
3.3 - PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES POR ALGORITMOS ...	75
3.3.1 - Planejamento do Processo	75
3.3.2 - Análise de Lote	78
3.3.3 - Determinação de Carga da Máquina ..	80
3.3.4 - Programação da Produção	83
3.3.5 - Minimização do Tempo de Preparação de Máquinas	95
4 - A PESQUISA NAS INDÚSTRIAS: METODOLOGIA E RESULTADOS	99
4.1 - A ESCOLHA DAS INDÚSTRIAS E METODOLOGIA DE PESQUISA	100
4.2 - RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO	100
4.2.1 - Empresa A	100
4.2.1.1 - O Planejamento e Controle de Produção da Empresa..	102
4.2.2 - Empresa B	105
4.2.2.1 - O Planejamento e Controle de Produção da Empresa ..	107
4.2.3 - Empresa C	111
4.2.3.1 - O Planejamento e Controle de Produção da Empresa ..	113
5-CONCLUSÕES	117
ANEXOS	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação mercado x empresas	2
Figura 2 - O processo de AFP	11
Figura 3 - Formação de grupos através de um SCC	13
Figura 4 - Mapa de fluxo num arranjo tradicional	15
Figura 5 - Fluxo num layout de grupo	16
Figura 6 - Fatores de tempo numa fabricação por usinagem	19
Figura 7 - Participação das tarefas numa usinagem ...	19
Figura 8 - Métodos de formação de células empregados pelas empresas americanas	24
Figura 9 - Um FMS completo	26
Figura 10 - Área de aplicação dos sistemas de manufa- tura	27
Figura 11 - Estrutura de controle da produção	32
Figura 12 - O sistema JIT	36
Figura 13 - Kanbans de requisição e produção	40
Figura 14 - Kanban com dois cartões	42
Figura 15 - Corrente de kanbans	42
Figura 16 - O MRPII	49
Figura 17 - Lista de materiais de vários níveis	51
Figura 18 - Árvore de estrutura do produto	52
Figura 19 - Sistema MRP: relações entrada-saída	53
Figura 20 - Representação "time-phased" do MRP	55
Figura 21 - Fluxograma de Funcionamento do OPT	66
Figura 22 - Alternativa de controle de produção para células de manufatura	74
Figura 23 - Rede de roteiros alternativos de processos..	76
Figura 24 - Rede com processamento em grupo	78
Figura 25 - O processo de ramificação aplicado a grupos	92

1 - INTRODUÇÃO

Uma empresa é um organismo inserido num meio-ambiente, e, portanto, deve reagir aos estímulos oriundos deste para poder sobreviver. Esses estímulos formam um conjunto dinâmico, que muda de tempos em tempos. Assim, nas décadas de 60/70 predominou uma situação que exigia uma determinada postura das empresas, e, a partir dos anos 80, passou a existir um outro conjunto de estímulos, o qual requer uma outra postura das empresas. Isso está representado na figura 1.

No que tange ao período atual, além das características do mercado relatadas na figura, existem ainda algumas outras, como as colocadas abaixo:

- internacionalização da concorrência
- exigência crescente de qualidade por parte dos consumidores
- produtos individualizados
- crescente velocidade de introdução de mudanças tecnológicas

Para se ter uma idéia do que isso significa, uma pesquisa do Departamento de Trabalho dos Estados Unidos em 1965 apurou que 75% de toda a produção mecânica daquele país constava de lotes com menos de cinquenta peças. E ainda, estimava-se que, para a década de 70, 75% de toda a produção mundial de peças seria feita na base de lotes pequenos-MERCHANT (1969). Com isto, conclui-se que enquanto a variedade de produtos vem aumentando, o tamanho do lote vem diminuindo.

RELAÇÃO MERCADO X EMPRESAS

RELAÇÃO ENTRE ESTÍMULOS EXTERNOS E ARQUITETURA DA EMPRESA

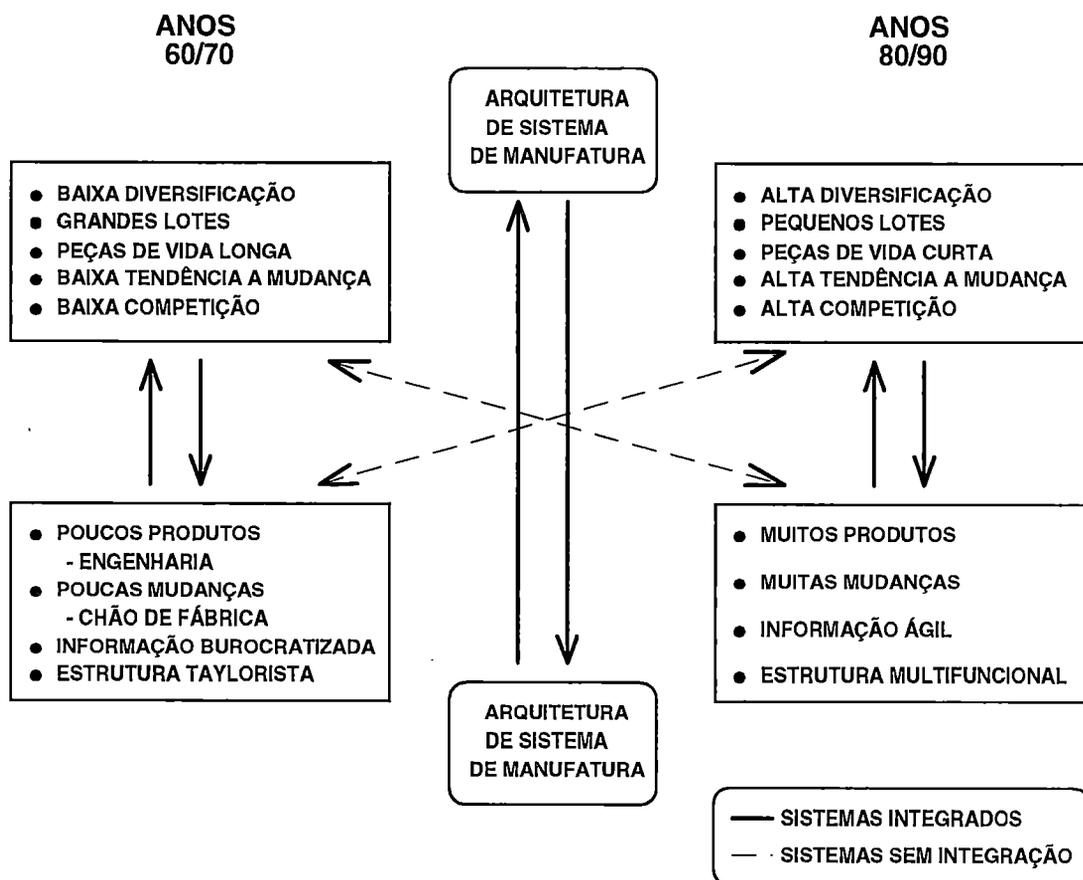


FIGURA 1 - Relação mercado x empresas
AGOSTINHO (1992)

A questão da busca da sobrevivência das empresas, no caso mais específico da indústria metal-mecânica, se reveste de uma importância fundamental neste final de século, dado as questões que estão envolvidas, como emprego, geração de riquezas e ao próprio peso desse setor na Economia. Segundo SÉRIO (1990), nos países industrializados, cerca de 30% do Produto Nacional Bruto correspondem a produtos manufaturados, e as empresas

metalúrgicas são responsáveis pelo emprego de 40% da mão-de-obra total do setor de manufaturados.

Particularmente, no caso do Brasil, que é um país em processo de industrialização, deve-se considerar o problema com muita atenção. Em alguns setores, o país possui um parque industrial ainda baseado na arquitetura dos anos 60/70, que emprega técnicas já ultrapassadas para as necessidades atuais. Por isso, é necessário que o Brasil incorpore de forma rápida e consolidada as modernas técnicas de fabricação e de gestão da produção, para poder atender as exigências do mercado, inclusive enfrentando a concorrência estrangeira.

1.1 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVO DO TRABALHO

Reconhece-se que os tradicionais sistemas de fabricação job-shop têm, entre outras características, dificuldades de Planejamento e Controle de Produção (PCP). Tipicamente, apresentam, entre outros fatores, lead-times longos, estoques de materiais em processo excessivos, grande parcela do tempo de produção dedicado a set-ups e espera e baixa visibilidade quanto ao status das ordens de fabricação (ofs).

Em contraste, significativos benefícios associados a fabricação celular têm sido relatados na literatura, entre os quais: menor lead-time total, menores níveis de estoque, tempos de set-ups menores, manuseio de materiais mais eficiente, operários mais satisfeitos profissionalmente, maior visibilidade do andamento das ofs e, conseqüentemente, PCP simplificado. Nos países industrializados, desde o início da década de

60, vem sendo empregado o conceito de Tecnologia de Grupo na constituição de células de manufatura, para a produção de lotes pequenos e médios - GONÇALVES FILHO (1982). Atualmente, segundo a mesma fonte, a Tecnologia de Grupo (TG) tem sido considerada a única evolução real da manufatura para produção de lotes pequenos e médios, além de ser considerada um requisito básico para a implantação com sucesso de modernas tecnologias industriais, como a Fabricação Assistida por Computador (CAM).

No entanto, o sistema de manufatura celular, como qualquer outro, requer um eficiente método de Planejamento, Programação e Controle de Produção (PPCP), sem o qual a sua implantação não alcançará os objetivos pré-definidos. A forma de PCP para uma fábrica com arranjo físico celular tornou-se um problema de interesse geral para os meios industrial e acadêmico, ao qual tem se dedicado pesquisadores do porte de Burbidge, Ham e mais recentemente Wemmerlöv e outros. E sabe-se que cada fábrica tem suas características próprias, que requerem diferentes abordagens na concepção de um sistema de PCP.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo apresentar fontes de informações e análises acerca do problema do Planejamento e Controle de Produção, com ênfase para os grupos de produção pequenos (células de manufatura).

1.2 - CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação contém cinco capítulos, contando este.

No Capítulo 2, "O Ambiente Atual de Fabricação", abordam-se os elementos básicos da Tecnologia de Grupo, da manufatura celular e dos modernos sistemas de PCP.

O capítulo 3, "O Controle de Produção em Células de Manufatura", apresenta o problema de programação da produção no arranjo físico celular.

O Capítulo 4, "Pesquisa nas Indústrias", apresenta os três estudos de casos realizados. O primeiro, numa indústria de produção intermitente altamente repetitiva; o segundo, numa empresa que fabrica lotes médios de componentes e produto final diferenciado; o terceiro, numa indústria produtora de bens de capital sob encomenda.

O Capítulo 5, "Conclusões", é o último. Nele são apresentadas as conclusões deste trabalho, diante de tudo o que foi levantado.

2 - O AMBIENTE ATUAL DE FABRICAÇÃO

2.1 - INTRODUÇÃO

Simplificando, o oportunismo de se fazer o trabalho certo na hora certa é o ingrediente mais importante para o sucesso de uma unidade produtiva. Quando isto ocorre, os materiais fluem regularmente, o material em processo é terminado, o produto é expedido no tempo devido e as máquinas são utilizadas de forma eficiente.

Vários conceitos e tecnologias se desenvolveram contemporaneamente, criando um novo ambiente no chão de fábrica, como: fabricação celular, máquinas de comando numérico, sistemas CAD-CAM, Tecnologia de Grupo, sistemas de PPCP mais eficazes, computadorizados ou manuais e novas filosofias de gestão da produção.

2.2 - ASPECTOS GERAIS DA TECNOLOGIA DE GRUPO

A Tecnologia de Grupo (TG) é uma técnica ou filosofia de produção que visa a identificação, a classificação, a reunião e a exploração das similaridades de projeto (forma) e/ou de fabricação (processos) dos componentes produzidos por uma empresa. O objetivo é a aglomeração dos componentes com características similares em conjuntos, os quais podem ser fabricados por um determinado grupo de máquinas, especialmente constituído para executar os seus processos de fabricação.

Com isto, pretende-se trazer para a produção em lotes as vantagens da produção em massa, como máquinas e equipamentos dedicados, especialização da mão-de-obra, padronização de ferramentas e procedimentos e, conseqüentemente, facilidades de programação e controle da produção.

A Tecnologia de Grupo iniciou o seu desenvolvimento formal e científico após o fim da Segunda Guerra Mundial, sendo que as primeiras publicações ocorreram por volta de 1959, e tem sido uma das técnicas mais usadas na indústria-GONÇALVES FILHO (1982).

Deve ser dito que a aplicação da TG teve um grande impulso com a difusão da informática, que passou a ser uma ferramenta normal nas indústrias, o que explica o fato do emprego regular da TG ser recente. Com a computação, há possibilidade de se trabalhar com uma grande quantidade de dados, com precisão e segurança, além, é claro, da grande velocidade. Através dos bancos de dados, conhecem-se as peças que constituem as famílias, o tamanho dos lotes e o tempo de execução de cada operação. Além disso, há possibilidade de uma previsão quanto às peças futuras, as quais irão entrar em alguma família, a qual já tem toda a estrutura de produção preparada - PEREIRA & PEREIRA (1988).

HAM (1982) e LEVILIS (1978) apresentam uma pesquisa da utilização da TG nos EUA, onde as aplicações, principalmente a partir da década de 70, têm a seguinte descrição:

- Projeto do Produto = 53%
- Planejamento do Processo = 47%
- Células de Fabricação = 41%
- Em todas essas três áreas = 30%
- Pretendem implantar células = 29%

2.2.1 - Família e Formação de Família

Este é o ponto fundamental da Tecnologia de Grupo. "Família" é um conjunto de peças com características semelhantes de forma geométrica (ou de projeto) e/ou de processo de fabricação. As famílias de peças possuem tamanho variável, dependendo das características dos produtos da empresa. Não existe nenhum limite quanto ao número ou tamanho das famílias. Todas as peças que possuem semelhança (inclusive as que forem sendo projetadas) devem pertencer a uma mesma família.

As peças são consideradas similares quanto ao processo de fabricação quando tipo, sequência e número de operações são similares, sendo que o tipo de operação é determinado pelos métodos de fabricação, de fixação da peça, ferramental necessário e condições de corte.

Normalmente, o processo de formação de famílias é o que leva mais tempo dentro de um programa de implantação de Tecnologia de Grupo. Isso porque a empresa precisa de toda uma preparação, que envolve desde a análise de todas as suas "peças vivas" até parâmetros de análise de viabilidade, para incluir uma peça numa determinada família ou outra-GONÇALVES FILHO (1982).

Há, segundo BURBIDGE (1975), três métodos básicos para formação de famílias:

- 1) Método Visual
- 2) Análise do Fluxo de Produção
- 3) Sistema de Classificação e Codificação

MÉTODO VISUAL

É o mais elementar dos três. Consiste praticamente na observação visual dos desenhos dos

componentes fabricados pela empresa, agrupando em conjuntos os que têm semelhança de forma. É totalmente subjetivo, pois não segue nenhuma regra específica.

É rápido, barato, mas não tem garantia de levar a resultados vantajosos para a empresa. Entretanto, atualmente ainda é usado.

ANÁLISE DO FLUXO DE PRODUÇÃO (AFP)

É considerado o método intermediário entre os dois outros, tanto a nível de complexidade quanto a nível de resultado obtidos. É conhecida também por outros nomes, como Análise de Fluxo de Fabricação (AFF), e "Production Flow Analysis" (PFA). O procedimento de implantação da Análise de Fluxo da Produção foi divulgado pelo artigo de Burbidge publicado em 1975. De acordo com essa publicação a implantação da AFP se dá em três níveis:

- 1) Análise do Fluxo de Fabricação (AFF)
- 2) Análise de Grupo (AG)
- 3) Análise de Linha
- 4) Análise de Ferramental

A AFF procura determinar a estrutura departamental da empresa, com o objetivo de simplificar o sistema de fluxo interdepartamental e facilitar o controle de produção. Para isso, tudo o que a AFF exige é a folha de processos dos componentes fabricados pela empresa.

A AG objetiva formar famílias de peças e grupos de máquinas, com o intuito de descobrir o padrão de fluxo mais simplificado, para produzir a peça em apenas uma célula. As peças que possuem a mesma rota são agrupadas numa família e as máquinas que executam as operações dessa rota são agrupadas. É o estágio mais

difícil e mais importante da AFP. Para determinar quantidades de máquinas que devem constituir cada grupo é preciso fazer uma análise de carga.

A terceira etapa da AFP, a Análise de Linha, procura encontrar o melhor arranjo físico para a célula, através da análise da sequência em que os componentes usam as máquinas do grupo, determinando quais máquinas devem ficar próximas uma da outra, a fim de se ter um fluxo o mais próximo possível do linear.

A última etapa da Análise de Fluxo de Produção é a Análise de Ferramental, e é feita pela determinação das peças que serão processadas em cada máquina e determinando a melhor sequência de carregamento, a fim de minimizar o tempo de preparação das máquinas. A figura 2 ilustra as quatro etapas expostas acima.

De acordo com BURBIDGE (1992), se a empresa utilizar a análise de Fluxo de Produção, é sempre possível estabelecer famílias de peças e células de manufatura de forma a ter muito poucas peças que não se enquadrem nos grupos e de maneira a não ter contra-fluxo nas células e não ter fluxo inter-celular. As poucas excessões que por ventura apareçam, segundo a mesma publicação, podem ser eliminadas por:

- a) reprogramações de operações,
- b) reavaliação do componente a nível de reprojeto,
- c) opção de comprar o componente em vez de fabricá-lo.

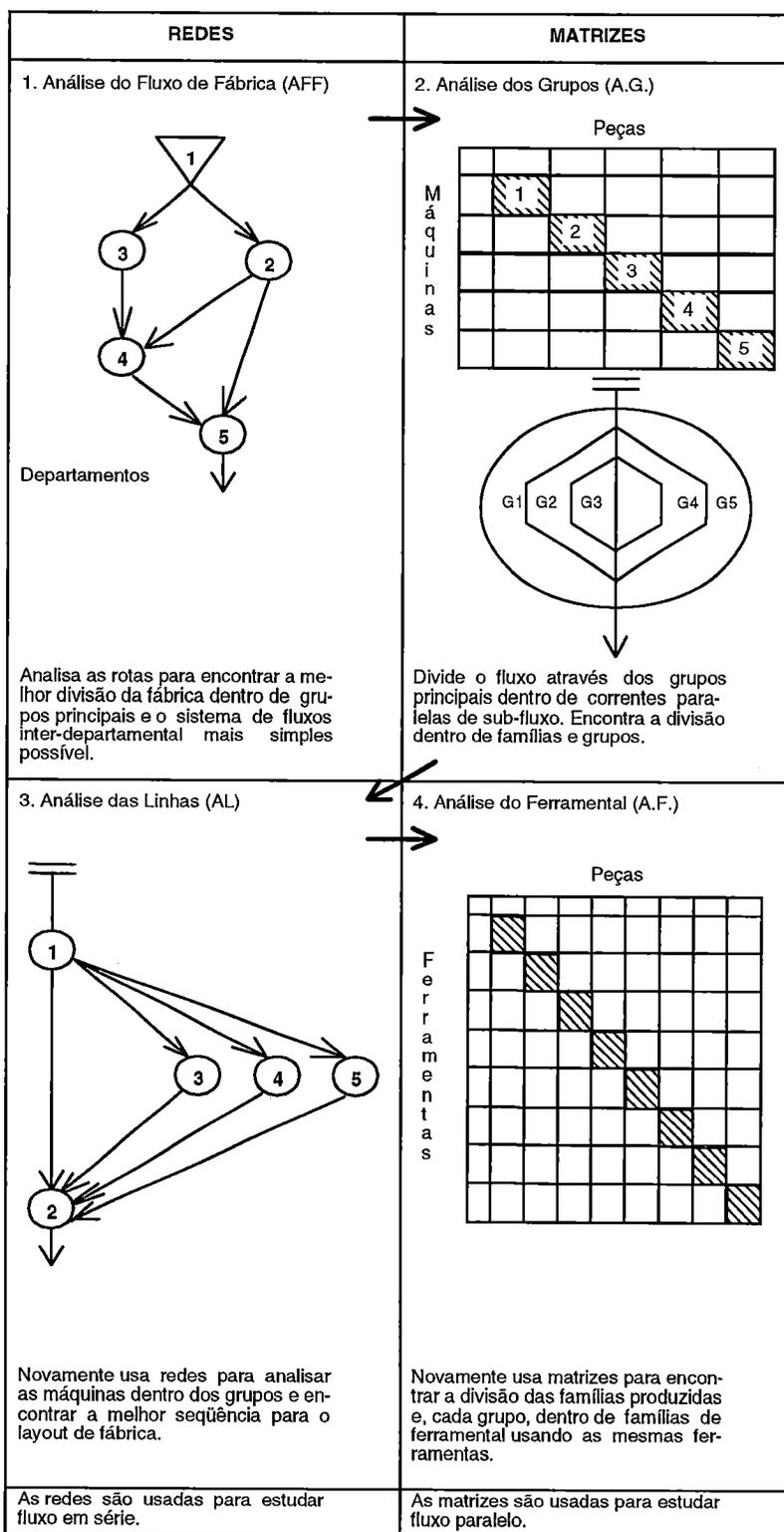


FIGURA 2 - AS fases de um processo de AFP
GONÇALVES FILHO (1982)

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO (SCC)

É a maneira mais elaborada de se constituírem famílias de componentes. Consiste no agrupamento de peças com base nas suas similaridades de forma ou de projeto. Com base em GONÇALVES FILHO (1982), podemos definir:

i) Classificação: divisão de uma lista de componentes em famílias ou classes, de acordo com suas semelhanças.

ii) Codificação: é a designação de caracteres (códigos) aos componentes de uma relação de tal maneira que esses caracteres transmitam informações a respeito da natureza dos componentes.

Um SCC, então, estabelece as regras para essas duas operações. E, de acordo com HAM (1992), um SCC aplicado em TG é um requisito essencial para se implantar um ambiente de CAM (Manufatura Assistida por Computador).

Os Sistemas de Classificação e Codificação começaram a ser aplicados na Engenharia do Produto (área de projetos), e é nessa área que eles são mais aplicados até hoje, pois dos três métodos de formação de famílias apresentados, o SCC é o único que propicia ganhos para o setor de projetos (a Análise Visual e a AFP se preocupam com a fabricação).

Um Sistema de Classificação e Codificação possui a característica de identificar univocamente um componente e a capacidade de abranger todas as "peças vivas" da empresa, inclusive as peças que venham a ser produzidas.

Os SCCs passaram a ser mais usados com a dissiminação do computador, já que esses sistemas requerem o processamento de uma grande quantidade de

informações. Os Sistemas de Classificação e Codificação podem ser universais (para uso geral), ou específicos (para satisfazer as necessidades particulares de uma dada empresa). Quanto aos códigos adotados, podem ser numéricos ou alfanuméricos. Uma empresa, para a escolha de um SCC, deve considerar todos os sistemas universais existentes (que são de uso público) e a viabilidade de projetar um sistema específico. A figura a seguir mostra as etapas de formação de famílias e grupos de máquinas utilizando um SCC.

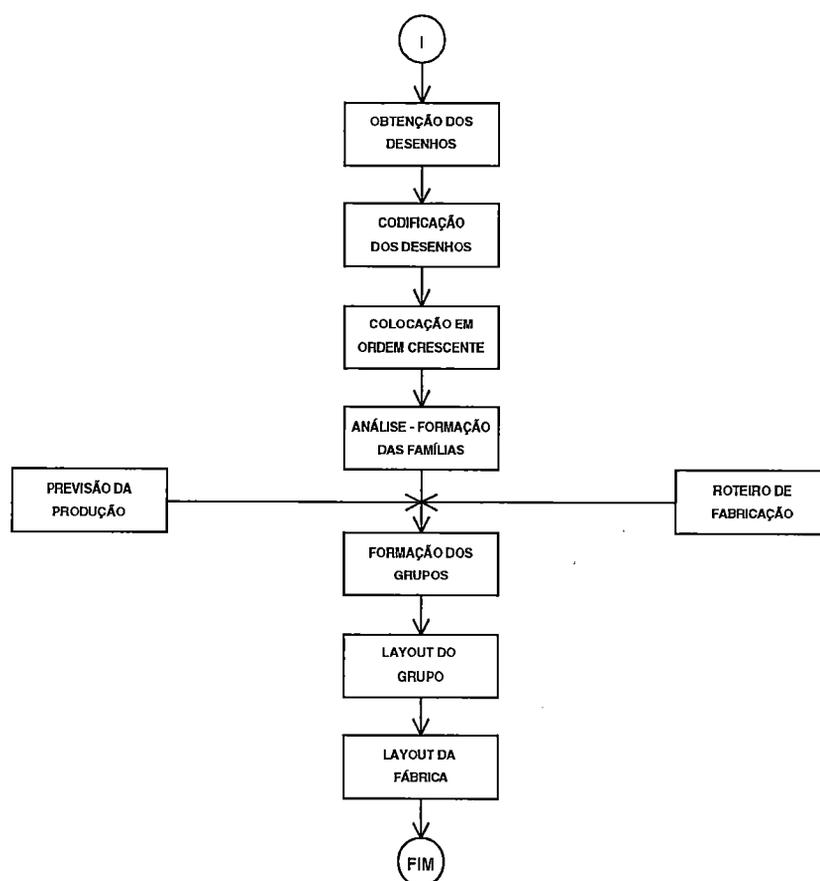


FIGURA 3 - Formação de grupos através de um SCC.

GONÇALVES FILHO (1982)

Segundo GONÇALVES FILHO (1982), as principais vantagens da AFP sobre o SCC são: menor nível de investimento e menor tempo de implantação. No entanto, o SCC propicia maior nível de racionalização na empresa e um banco de dados mais completo.

2.2.2 - Célula de Manufatura

A aplicação fundamental da Tecnologia de Grupo na fabricação é a formação das chamadas Células de Manufatura. O arranjo físico da fábrica em células é conhecido como "layout celular" ou "layout de grupo."

Uma célula é, então, uma unidade de fabricação composta de um grupo de máquinas, ferramental, dispositivos de movimentação e pessoal próprios, reunidos especificamente para executar a fabricação de uma (ou algumas) família(s) de componentes, formadas por algum daqueles métodos apresentados anteriormente. Uma célula é, assim, uma unidade de produção completa, que recebe as suas matérias-primas (que pode vir inclusive de uma outra célula) e produz o item determinado, entregando-o à expedição ou a uma outra célula.

Segundo GONÇALVES FILHO (1982), as primeiras células foram montadas no início da década de 60, na URSS, difundindo-se depois para a Europa Ocidental e a seguir para os países industrializados do mundo todo.

Com a manufatura celular, pretende-se, conforme explicitado anteriormente, trazer para as empresas que produzem em lotes pequenos e médios as mesmas vantagens da produção em série - cada célula produz apenas produtos semelhantes, e a reunião dos produtos de todas as células cobre a variada gama de produtos que a empresa precisa produzir.

Uma das grandes vantagens da fabricação em células é a simplificação da tarefa de planejamento e controle da produção, que advém principalmente da simplificação do fluxo de materiais e da redução da unidade a controlar, pela divisão da fábrica em unidades menores - é muito mais simples planejar e controlar o

fluxo de materiais numa fábrica com layout celular do que numa fábrica com layout tradicional ou funcional. A simplificação do fluxo, ou seja, das rotas pelas quais os materiais circulam pela fábrica, torna possível a redução do ciclo de fabricação dos produtos, do estoque em processo e dos custos de manuseio das mercadorias. Os materiais andam menos e mais depressa. Isso acaba também reduzindo os custos do trabalho indireto - BURBIDGE (1975).

As figuras 4 e 5 mostram respectivamente o fluxo de materiais num arranjo físico funcional e num arranjo de grupo. Elas tornam evidente a grande simplificação do fluxo de materiais que ocorre quando se trabalha com células.

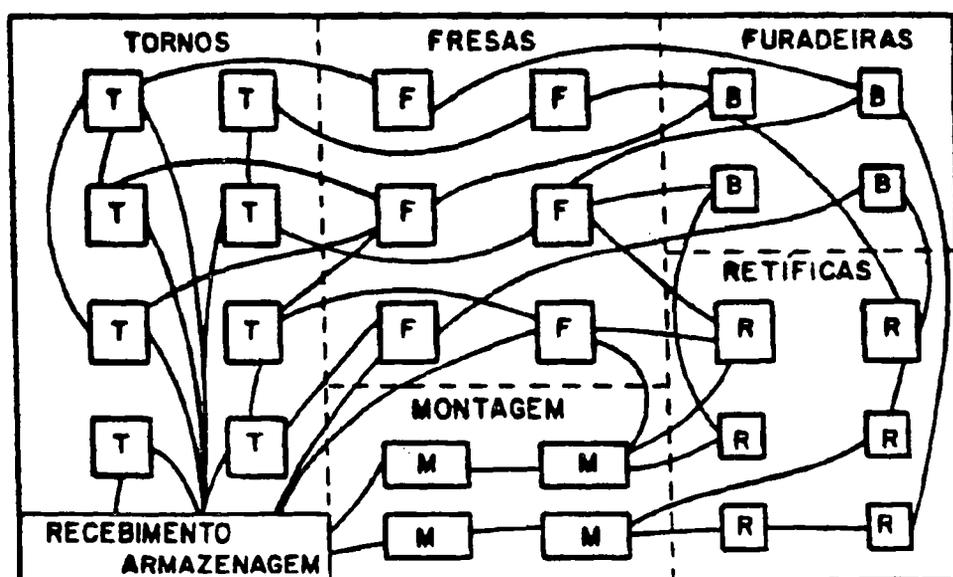


FIGURA 4 - Mapa de fluxo num arranjo tradicional
BURBIDGE (1975)

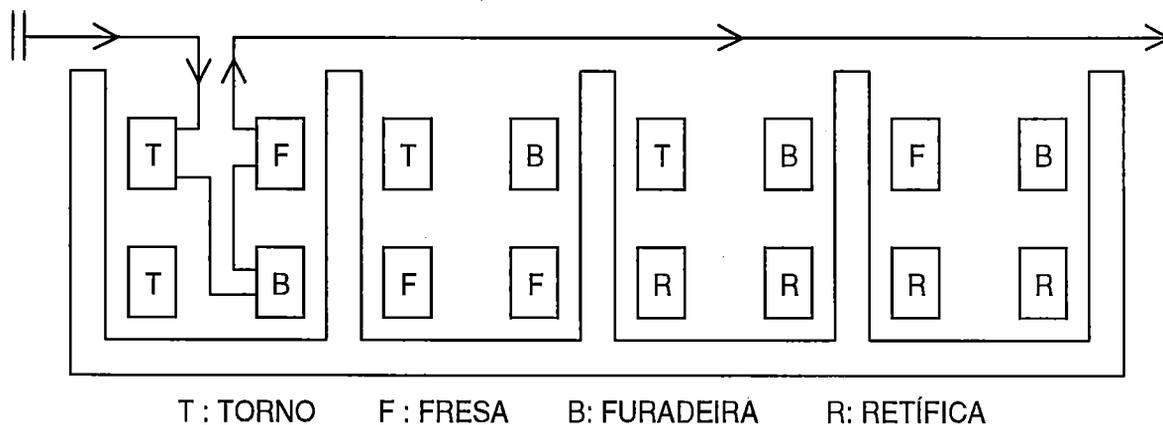


FIGURA 5 - Fluxo num layout de grupo
BURBIDGE (1975)

O sistema de células permite que uma família de peças seja fabricada em um único grupo de máquinas, as quais são colocadas uma perto da outra. Isso permite que as peças progridam rapidamente de máquina a máquina, individualmente ou em pequenos lotes, reduzindo consideravelmente as paradas entre as operações. Assim, o ciclo de fabricação dessas peças é reduzido e o nível de inventário em processo mantido num nível mínimo. Isto implica em datas de entrega mais confiáveis, minimização dos investimentos em estoques e uma grande simplificação do controle de produção. A redução do manuseio do produto, em comparação com o arranjo funcional, gera menores riscos de danos, enquanto que o aumento da familiaridade do operador com as peças pode reduzir os enganos e melhorar o nível de qualidade - JACKSON (1978).

No arranjo de grupo não é preciso que as peças passem pela mesma sequência de máquinas e nem mesmo que todas as peças de uma família façam uso de todas as máquinas de uma célula. Por isso, para assegurar um nível aceitável de utilização da mão-de-obra, é necessário que os operadores possam se deslocar dentre algumas máquinas, conforme a necessidade da manufatura. Portanto, é

necessário que os operários tenham habilidade para realizar mais de uma função.

Embora a utilização de mão-de-obra seja maximizada, pode haver ociosidade de equipamentos, a qual é usualmente preferida à ociosidade de pessoal, principalmente a nível de equipamentos convencionais, que são os que constituem a maior parte das células. No caso de equipamentos muito sofisticados e muito caros, a utilização destes deve ser priorizada.

Apresentam-se a seguir algumas características das células de manufatura, de acordo com GONÇALVES FILHO (1982):

1) Tempo total de produção pequeno

Pela proximidade das máquinas e facilidade de programação, os tempos de movimentação e espera são diminuídos, além do fato de que, devido a especialização da célula, pode-se projetar dispositivos automáticos de produção e aperfeiçoar o set up das máquinas, tornando a usinagem mais rápida.

2) Papel melhorado do operário na indústria

Cada indivíduo sente que faz parte de um time com objetivos comuns, e, além disso, como numa célula o operário tem que operar máquinas diferentes e realizar múltiplas tarefas, acaba a monotonia do trabalho. Isso contribui também para a formação profissional do indivíduo.

3) Menor necessidade de supervisão (e supervisores)

Numa célula não existem supervisores diretos do trabalho, pois todos os membros do grupo são responsáveis pela produção. Normalmente, há apenas um supervisor por setor (composto de várias células).

Pode-se acrescentar ainda outra vantagem, que foi colhida por BURBIDGE (1979):

4) Melhoria no sequenciamento das operações

Como se trabalha com peças semelhantes (e portanto com operações semelhantes), é possível realizar um sequenciamento de operações muito favorável, com grande aproveitamento de cada preparação de ferramentas, o que entre outras coisas aumenta a capacidade de produção.

Para que se possa ter a exata dimensão do alcance desses benefícios, reproduz-se a seguir alguns gráficos que mostram a grande participação dos chamados "tempos mortos" no tempo total de operação de uma empresa. Primeiro, uma figura que mostra a ocupação do tempo total de uma fábrica por ano, para as que produzem em pequenos, médios e grandes lotes (figura 6). Nota-se a grande proporção de tempos improdutivos no computo geral dos tempos, que é mais acentuada na produção em pequenos e médios lotes, a qual compreende a maior parte da produção da indústria mecânica.

A figura 7, baseada em HAM et al. (1985), mostra que o tempo efetivo que sobra para a usinagem propriamente dita de peças é muito pequeno (30% de 5% = 1,5%); 98,5% do tempo de máquina (que já é uma porcentagem pequena do tempo disponível - vide primeira figura) é ocupado por "tempos mortos".

Isso demonstra que qualquer esforço no sentido de diminuir os tempos improdutivos é de suma importância para a indústria.

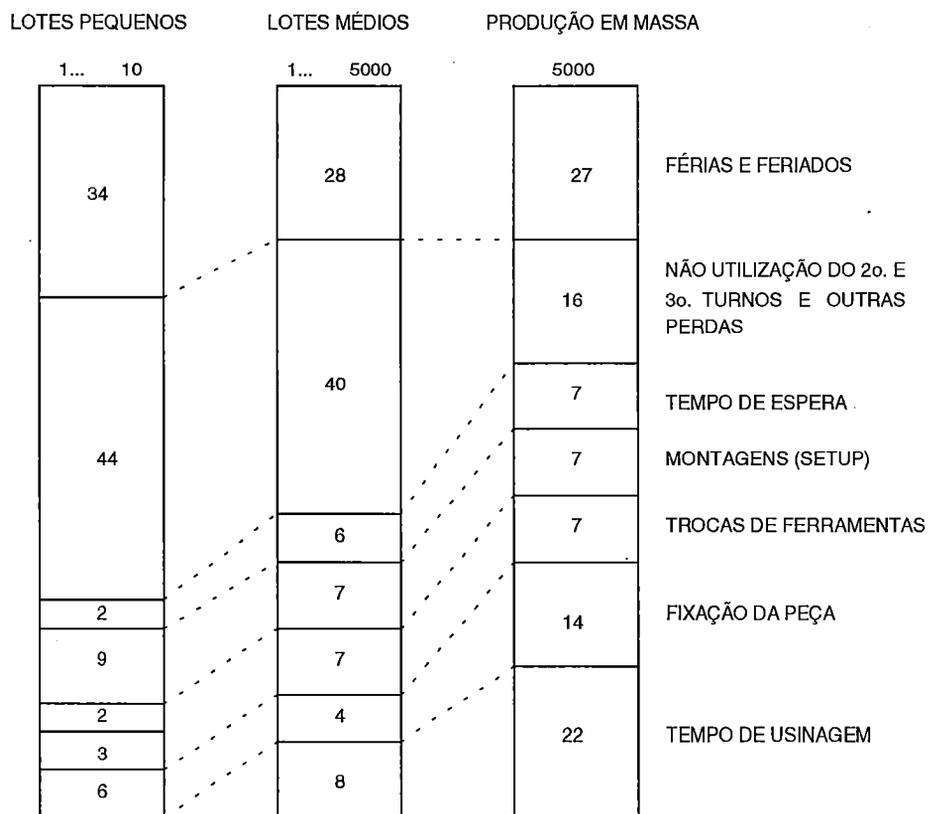


FIGURA 6 - Fatores de tempo numa fabricação por usinagem AGOSTINHO (1991).

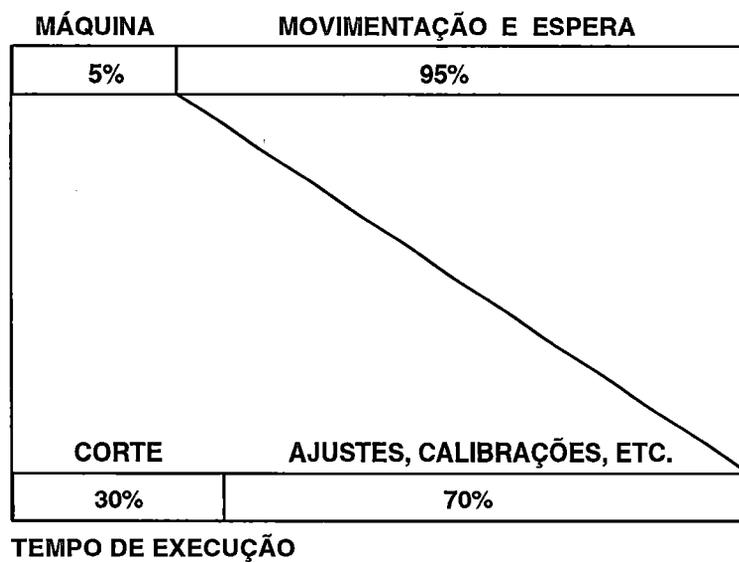


FIGURA 7 - Participação das tarefas numa usinagem. Baseado em HAM et al. (1985).

No entanto, para a implantação do sistema de célula de manufatura, e para que esse sistema se desenvolva com sucesso, algumas condições devem ser respeitadas, de acordo com GONÇALVES FILHO (1982):

a) que a produção se constitua de um grande número de pequenos lotes

Esta é a condição determinante para a viabilidade da implantação de células; ocorrendo situação contrária (pequeno número de grandes lotes), as técnicas de produção em massa são mais indicadas.

b) informação acurada dos componentes e respectivos dados de fabricação

A constituição de células de manufatura, baseada na Tecnologia de Grupo, depende da análise dos componentes e dos dados de produção.

c) flexibilidade da mão-de-obra

Os operários devem estar habilitados para ocupar vários postos de trabalho da célula, senão todos, e ainda realizar inspeções nos produtos e pequenas manutenções nos equipamentos, além de realizarem o set-up dos mesmos. A célula deve ser o mais auto-suficiente possível.

Uma vez montada a célula, com todas as condições citadas acima satisfeitas, um fator que se pode aperfeiçoar para melhorar o desempenho dela, melhorando o nível de utilização, é, segundo CHRISTIANO (1989), o tempo de set-up. Este deve ser continuamente reduzido, principalmente nas máquinas mais utilizadas. Sim, porque com uma célula adequadamente constituída, com um processo de fabricação bem elaborado, o set-up é o fator que limita o tempo de produção. O citado autor apresenta uma idéia para melhorar (reduzir) o tempo de set-up: padronizar o ferramental para a família de peças e alocá-lo na máquina/célula, evitando a saída do operador do seu

posto de trabalho; - deve-se entender por "ferramental" os dispositivos de fixação e centragem, as ferramentas de trabalho e os instrumentos de medição e controle de qualidade.

É evidente que o número e o tipo de máquinas dentro de uma célula e o número de células numa empresa dependem das características desta e das características dos produtos/famílias. É claro que quanto menor o número de máquinas mais fácil é o controle. Dentro de uma célula, procura-se um padrão de fluxo tipo flow-shop, mas isso nem sempre é possível. Há até casos em que uma peça de uma família deve sofrer operações em outra célula.

A IMPLANTAÇÃO DE CÉLULAS DE MANUFATURA

A Análise de Fluxo de Produção é a técnica de formação de grupos preferida pelas empresas, as quais na grande maioria a empregam de maneira simplificada, sem seguir necessariamente aquelas quatro etapas apresentadas na descrição do método.

Mesmo quando a intenção é empregar um Sistema de Classificação e Codificação, é aconselhável utilizar primeiro a AFP, para ir se obtendo alguns resultados práticos a curto prazo e assim ir ganhando a confiança da direção da empresa para a nova proposta.

É boa prática começar a implantação da manufatura celular através da constituição de *Células-Piloto*, para adquirir experiências. A fábrica precisa escolher um de seus setores de produção (planta) para a implantação piloto das células. Não adianta montar uma célula no setor; é preciso implantar células no setor

inteiro, senão os benefícios da manufatura celular serão prejudicados - GONÇALVES FILHO (1982).

Em CHRISTIANO (1989), encontra-se um procedimento para a empresa se preparar para implantar as células de fabricação. Em resumo, apresenta os seguintes passos:

i) fazer uma relação dos equipamentos disponíveis

Deve ser providenciada a relação das máquinas disponíveis para produção, com as suas características mais importantes ;

ii) fazer uma estruturação destas máquinas em grupos

É interessante dividir estas máquinas em grupos do tipo leve, médio e pesado;

iii) estabelecer sequência padrão de fabricação

Deve ser estabelecida para cada família formada uma sequência padrão de fabricação, que deverá conter todas as operações necessárias para produzir todas as formas geométricas encontradas naquela família, e o tipo de máquina necessário para produzir essas operações, dentro daquela classificação do item anterior (leve, médio ou pesado).

iv) esboço da célula

Nesta fase procura-se determinar as áreas básicas que devem ser ocupadas pelos equipamentos, pela análise das sequências padrões de fabricação.

Por exemplo: uma área para desbaste outra para acabamento;

uma área para usinagem outra para tratamento térmico

A partir daí, a empresa tem condições de passar ao projeto das células, utilizando o método que achar mais propício.

Segundo CHOI (1992), os problemas mais comuns encontrados no projeto de células são: escassez de equipamentos, processos especiais, peças excepcionais, máquinas especiais e a obtenção da flexibilidade das células.

[GAITHER; FRAZIER; WEI, (1990)] apresentam três condições para viabilizar uma mudança de um arranjo tipo funcional para um arranjo celular:

- 1) que o *mix* de produtos da empresa contenha peças com características semelhantes;
- 2) que a demanda para as famílias de peças montadas seja suficiente para prover um carregamento razoável para cada célula;
- 3) que a demanda para cada família de peças seja relativamente estável de período para período.

A mesma referência pondera ainda que nem todas as peças de um sistema job-shop precisam ser fabricadas numa manufatura celular; indica que seja feita uma avaliação peça a peça para que sejam selecionadas as melhores candidatas. Deve-se fazer um "ranking" de peças mais indicadas, da melhor para a pior, e começar o rearranjo de máquinas para a fabricação das peças mais indicadas, que propiciariam uma formação de célula mais simples e com maiores possibilidades de sucesso. Essa célula seria, então, um protótipo, onde tirar-se-iam experiências, que seriam repassadas na implementação das outras células.

De acordo com uma pesquisa realizada por WEMMERLÖV & HYER (1989), a grande maioria das indústrias que implantaram células de manufatura são do tipo que trabalha com metais (usinagem), como indústria de máquinas, motores e similares. No mesmo trabalho eles apresentam os resultados sobre os principais métodos utilizados pelas empresas americanas para formar células:

Método	Número de firmas que o utilizam
formação de células a partir de agrupamento de peças semelhantes	19
utilização de uma máquina-chave como núcleo da célula	11
AFP	9
formação de células com apoio de um SCC	7

FIGURA 8 - Métodos de formação de células empregados pelas empresas americanas.

WEMMERLÖV & HYER (1989)

Ainda, de acordo com essa mesma pesquisa, a grande maioria das empresas consultadas utilizam somente células com baixa automação ("manuais") e apenas para fabricação.

A pesquisa mostrou que o padrão de fluxo de produção dentro das células está diretamente relacionado com o tamanho das mesmas: células menores tendem a ter um fluxo mais para o *flow-shop*, enquanto células maiores tendem a um fluxo mais para o *job-shop*. Os resultados do trabalho de Wemmerlöv & Hyer vêm confirmar todas as

características do emprego de células, que foram relacionadas no decorrer deste sub-capítulo.

2.2.3 - Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS ou SFM)

2.2.3.1 - Introdução

Uma boa definição para SFM é apresentada por SINHOM (1987:43): "um Sistema Flexível de Manufatura é um sistema de produção **controlado por um computador central**, composto por duas ou mais máquinas de comando numérico computadorizado e com um sistema automático para transferência de materiais, capaz de operar por longas horas sem qualquer interferência humana. O computador central controla a produção inteira em todos os seus aspectos, desde o suprimento de matérias-primas até o armazenamento de produtos acabados, passando pelo controle de qualidade. O computador executa todo esse processo seguindo um programa que está armazenado em sua memória." Essa definição contempla o elemento caracterizador de um FMS que é a presença de um controle central (computadorizado) que **integra todo o sistema**.

O chamado Sistema Flexível de Manufatura ainda não atingiu seu desenvolvimento completo, até porque incorpora os mais modernos avanços tecnológicos da informática, microeletrônica, mecânica de precisão etc.

O FMS é o último estágio da automação da fabricação (chão-de-fábrica), e como seu próprio nome indica consiste de uma automação flexível (ou programável), em contrapartida a automação rígida (ou dedicada), que já existe na indústria mecânica há algum tempo. A figura a seguir reproduz um FMS completo.

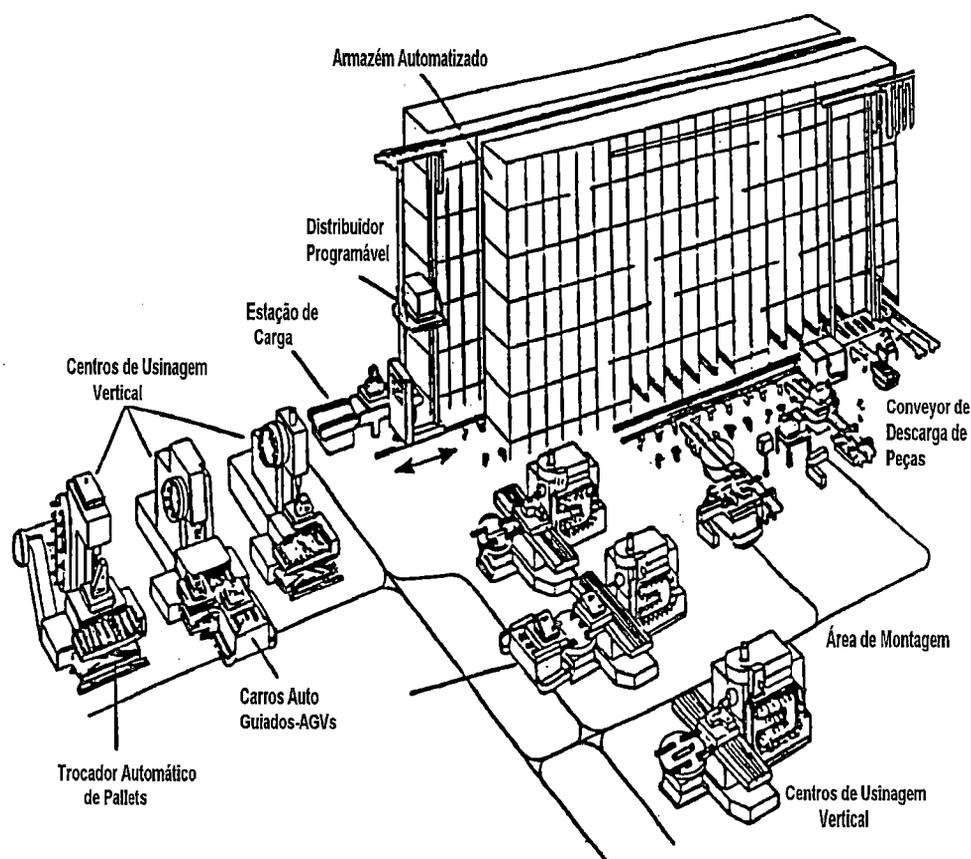


FIGURA 9 - Um FMS completo.
AGOSTINHO (1991)

Devido aos altos custos, grande parte dos esforços de implantação tem sido feito por governos e universidades dos países mais desenvolvidos e por grandes empresas fabricantes de máquinas-ferramentas.

Por essas razões é que não existe até o momento uma empresa que baseie a sua produção totalmente em FMSs, até porque a produção com esse tipo de sistema ainda é cara se comparada com sistemas convencionais. FMSs convivem lado a lado com células e linhas de produção convencionais.

Segundo AGGARWAL (1985), os Sistemas Flexíveis de Manufatura são projetados para obter grande produtividade das máquinas, com uma elevada taxa de

utilização da capacidade delas, da ordem de 80 a 90% (num sistema convencional se utiliza de 5 a 30% da capacidade das máquinas). Assim o parâmetro mais importante para verificar o desempenho de um FMS é a Taxa de Utilização dos Equipamentos. O que faz sentido, uma vez que o FMS tem sua produção totalmente baseada em máquinas, e máquinas de alto custo.

De acordo com CORIAT (1988) e AGOSTINHO (1991), os Sistemas Flexíveis de Manufatura são indicados para a produção de peças com média diversidade (4 a 50 peças diferentes) e lotes médios (50 a 2000 peças cada). Assim, um FMS ficaria no meio da escala entre uma linha de automação rígida (transfer) e uma máquina de comando numérico, em termos de flexibilidade. A figura 10 exhibe esta situação.

ÁREA DE APLICAÇÃO DE DIVERSOS CONCEITOS DE FABRICAÇÃO

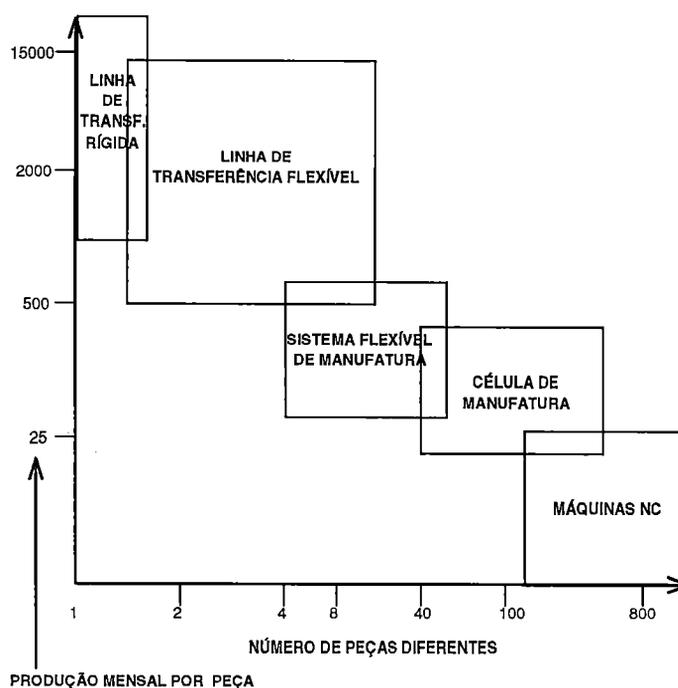


FIGURA 10 - Área de aplicação dos Sistemas de Manufatura. AGOSTINHO (1991).

As principais vantagens do emprego de Sistemas Flexíveis de Manufatura apontadas na literatura são:

- baixo índice de emprego de mão-de-obra para qualquer tamanho de lote;
- mínimo nível de inventário;
- respostas imediatas a novas instruções, sejam de processo ou de produção;
- otimização da utilização dos recursos de produção;
- maior uniformidade e repetibilidade dos produtos;
- obtenção de máxima qualidade de fabricação;
- menor tempo de trânsito das peças.

Apesar de ainda não se estar empregando em larga escala Sistemas Flexíveis de Manufatura, entende-se que estes são a evolução natural dos sistemas de produção mecânica, e portanto devem ser o sistema de produção do futuro. Por isso a preocupação de incluir o FMS neste trabalho.

2.2.3.2 - O PCP para um FMS

A grande meta de um FMS é a Flexibilidade. E a flexibilidade de um sistema produtivo, principalmente de um sistema automatizado, começa a ser definida no seu projeto, delimitada em termos de eixos programáveis, variações do percurso etc. No caso de um FMS, a flexibilidade de projeto é dimensionada para ser a máxima possível.

Mas, para garantir o aproveitamento de toda a flexibilidade do sistema produtivo é necessário um eficaz suporte logístico, administrativo e operacional. Em outras palavras, consiste na otimização da produção, através da minimização dos tempos improdutivos (como tempo de montagem de ferramental e dispositivos, tempo de

transporte, tempo de fila) e suprimento de materiais. Aí está o grande campo de trabalho do PCP para um FMS.

Um método muito interessante para a avaliação de um FMS é a modelagem do sistema. Através de uma modelagem pode ser obtido entre outras coisas o tempo real das tarefas de produção - CAPUTO (1983). Naturalmente, a modelagem matemática de um Sistema Flexível de Manufatura pode ser feita com vários graus de sofisticação ou de detalhamento. A modelagem é uma excelente ferramenta de auxílio, tanto a nível de projeto do sistema como depois a nível de gerenciamento da produção.

Uma ferramenta muito usada na programação de um FMS é a **Inteligência Artificial (IA)**. A Inteligência Artificial é aplicada na construção de uma Base de Conhecimentos. Nessa Base de Conhecimentos, se procura colocar além de todos os dados de produção conhecidos, regras de procedimento (decisão) que procuram cobrir todas as situações de produção possíveis.

Uma outra linha de atuação para programação de operações, muito difundida ultimamente, é a que aborda os AGVs. Estes são a forma de transporte de material mais utilizada nos FMSs. Devido a sua forma de trabalhar, eles constituem-se em verdadeiros distribuidores de produção. E como os AGVs são programáveis, são muito adequados a recepção de regras de prioridade.

O critério de prioridade normalmente empregado pelas regras de programação de operações para FMSs visa a maximização da taxa de utilização dos equipamentos, dado o alto custo destes.

O desempenho dos Sistemas Flexíveis de Manufatura está avaliado mais em simulações do que em

resultados vindos de uma produção real. Inclusive, pode-se dizer que hoje ele é um sistema mais acadêmico do que produtivo.

Fica-se então no aguardo de maior aplicação prática dos SFM para que se possa fazer uma análise mais segura do seu desempenho e avaliar as suas reais possibilidades.

2.3 - OS MODERNOS SISTEMAS DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

2.3.1 - A Estrutura Geral de Tomada de Decisões em Sistemas de Produção

A atividade do controle de produção, resumidamente, compreende:

- (a) definir o que deve ser feito (estabelecer padrões), onde e quando (numa base de tempo de curto prazo). É a chamada programação da produção;
- (b) monitorar o que está acontecendo no chão de fábrica;
- (c) comparar o que está acontecendo com o programado e, em casos de desvios, realimentar o processo através de uma reprogramação.

Um bom sistema de controle da produção traz como principais benefícios:

- redução dos estoques de materiais comprados e em processo;
- aumento da taxa de produção;
- maior cumprimento dos prazos de entrega;
- maior eficiência do processo de montagem

A estrutura decisória do controle de produção contempla três níveis hierárquicos, a saber:

- 1) Plano de produção (PMP): planeja o volume de produção dos produtos acabados;
- 2) Emissão de ordens: planeja a entrada de materiais de fornecedores e o volume de peças dos setores produtivos da empresa. As Ordens de Serviço podem ser:
 - Ordens de Fabricação: para itens de fabricação própria;
 - Ordens de Compra: para componentes e matérias primas comprados.

3) Liberação: programação diária do volume de produção por máquina, ou carga de máquina, necessária para completar as ordens na data devida. Na figura a seguir está representada a estrutura referida.

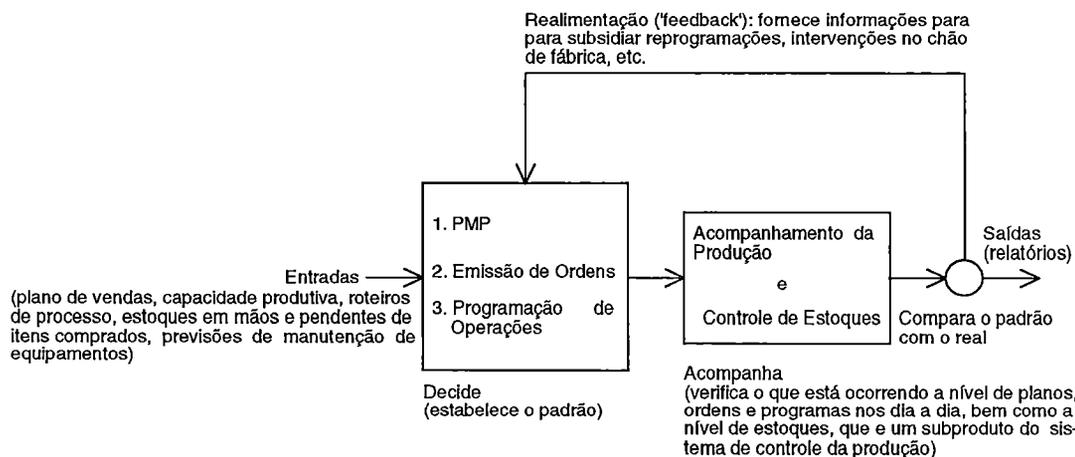


FIGURA 11 - Estrutura de controle da produção.

2.3.2 - O "Just-In-Time" (JIT)

A tradução da expressão inglesa "Just-In-Time" é "Apenas no Tempo", sendo que para MONDEM (1984), a expressão significa "Produzir no Tempo Exato". O fato é que o termo JIT compreende a produção dos itens necessários na quantidade necessária e no tempo necessário. Ou, em outras palavras, produção sem estoques.

Esse sistema apareceu de maneira empírica na empresa japonesa Toyota, desenvolvido e implantado por Taiichi Ohno, no período de 1949-50 até 1975.

As técnicas do sistema foram desenvolvidas continuamente, na base da tentativa e erro, e difundiram-se

pelo Japão a partir de 1975, tornando-se o sistema de produção característico daquele país.

Os grandes objetivos do JIT são a redução de custos e o aumento da produtividade, com melhoria da qualidade. Dentro dessa visão, a minimização do desperdício é uma busca incessante neste sistema, sendo que o estoque é visto não só como o maior dos desperdícios, como também a fonte de todos os outros-MONDEM (1984).

O JIT é um grande sucesso no Japão e, hoje, também no resto do mundo, sendo que para produção em série ele é considerado insuperável. Isto porque este sistema tem dado respostas muito boas às condições do mercado moderno, entre as quais podemos destacar, baseado em AGGARWAL (1985) e CORIAT (1988):

- produção a baixo custo;
- produção com alta qualidade
- rápida capacidade de resposta as solicitações do mercado, a nível de mudança de produto;
- capacidade de produzir, em séries mais restritas, bens diversificados e dirigidos para demandas particulares, estas variáveis em quantidade e qualidade e
- pequeno lead-time de produção

O sistema está alicerçado :

- **na lógica de "puxar a produção"** - ao contrário da lógica dos sistemas tradicionais de PCP, que é uma lógica de "empurrar a produção" (a produção de um lote inteiro de um item é descarregada no posto de trabalho subsequente, que então tem que utilizar todo esse lote - sua matéria-prima - para transformar no seu produto e passar para o posto seguinte, e assim por

diante), na lógica de "puxar" do JIT o posto de trabalho subsequente solicita ao posto precedente o seu produto, e este, por sua vez, para produzir esse produto solicitado, solicita a matéria-prima para o seu fornecedor, quer dizer, o seu posto precedente. E assim por diante. Desta forma, o setor de Vendas, que é o iniciador do processo, faz o pedido ao setor de Montagem, que pede os componentes necessários ao setor de Fabricação, que, por sua vez, pede a matéria-prima ao setor de Compras;

- **na produção nivelada**, que permite a empresa manter um fluxo de produção regular e uniforme, e a ajuda a adaptar-se às variações da demanda e reduzir inventários;
- **na padronização de operações**, para racionalizar a produção;
- **na adoção do arranjo físico celular**, em forma de "U", para os equipamentos;
- **na utilização de operário multifuncional**, princípio da manufatura celular, que viabiliza o nivelamento da produção;
- **na melhoria contínua das atividades** ("KAIZEN"), que procura o aumento da produtividade e a redução de custos, condições para sobrevivência e expansão da empresa;
- **no controle de qualidade por toda a empresa**, um dos fundamentos do JIT, que visa não só a satisfação do

cliente como a eliminação de defeitos e paradas na linha de produção;

- **na utilização do sistema KANBAN** para controle da produção, o elemento mais conhecido da filosofia, que será tratado num item especial;
- **no sistema de controle visual**, para alcançar o conceito de autonomia (controle autônomo de defeitos, na busca do "defeito zero").

Além disso, a manufatura JIT, a nível de Produção ainda conta com:

educação e treinamento;
sistema de produção integrado;
coleta e realimentação de dados;
participação dos operários-programas de Círculos de Controle de Qualidade.

E, a nível de Materiais, segundo CORRÊA & GIANESI (1993), o JIT conta com:

- estrutura de fornecedores JIT;
- contratos de longo prazo;
- planejamento firme de entregas;
- tempo adequado para que os fornecedores atendam as mudanças no planejamento;
- responsabilidade pelos produtos adquiridos e
- sistemas mutuamente benéficos.

A figura 12 esquematiza os pontos fundamentais da filosofia JIT:

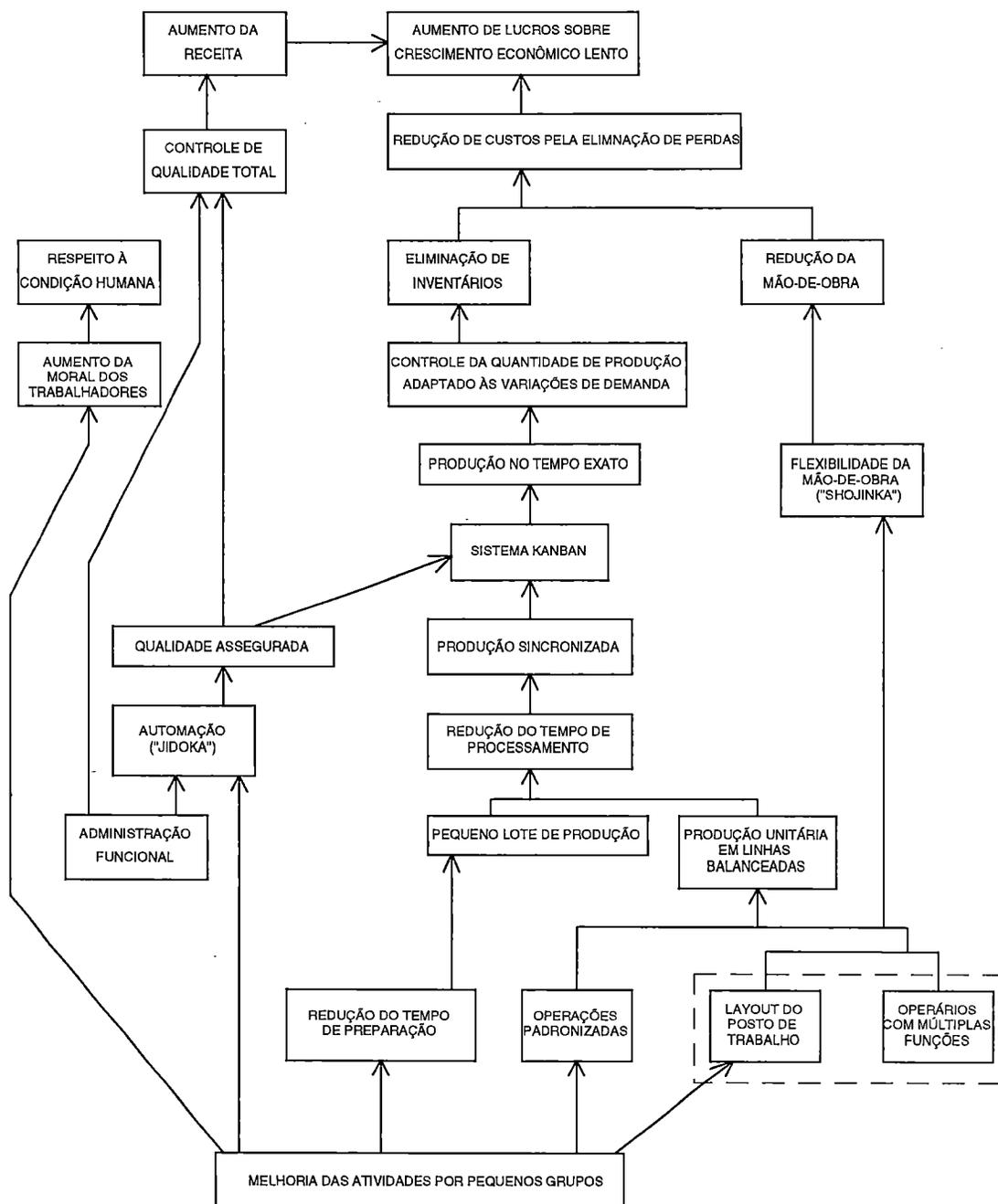


FIGURA 12 - O sistema JIT.

MONDEM (1984)

2.3.2.1 - O Nivelamento da Produção no Sistema JIT

As empresas que aplicam o sistema JIT têm sua produção baseada num plano de longo prazo, de pelo menos um ano. A partir dele é elaborado um Plano Mestre de Produção com horizonte de um a três meses, e um programa de produção firme para uma semana ou dez dias. Para a montagem, é elaborado um programa diário, normalmente com um dia de antedência.

Quanto à programação da produção, adota-se um procedimento do tipo "a primeira (ordem) que entra é a primeira que sai". Algumas ordens eventualmente podem adquirir caráter de urgência, por alguma razão, e então "furam a fila".

O ajuste da capacidade produtiva é feito de forma automática: operários são transferidos de um centro produtivo para outro conforme se faz necessário e horas extras são realizadas conforme o atraso verificado.

O chamado nivelamento da produção no JIT é a adaptação da linha para atender as variações da demanda. Essas adaptações têm duas fases:

- 1) a adaptação mensal - adaptação da demanda nos meses durante o ano;
- 2) a adaptação diária - a adaptação às demandas por dia durante o mês.

A adaptação mensal é baseada num plano de produção anual, o qual consiste numa meta de vendas. Depois é elaborado um plano mensal em dois passos: no primeiro, os tipos e as quantidades dos produtos são

previstos com dois meses de antecedência à produção; no segundo, esse plano é detalhado um mês antes da produção.

Deste plano de produção mensal é extraído o plano de produção diário. Este especifica a ordem de montagem dos vários produtos vindos da linha de montagem final; por exemplo:

A - B - A - C - ..., onde **A**, **B** e **C** representam os produtos. (nesse caso o Kanban realiza o papel de expedição)

O plano de produção diário representa apenas a demanda real. Para haver um balanceamento da carga de trabalho por toda a fábrica, o plano liberado deve estar nivelado, ou seja, aplicado em pequenas doses e de forma a se obter uma sequência, que, intercalando os produtos finais, forneça no final do dia o que é necessário; por exemplo:

tem-se que fabricar num dia 1000 unidades do produto **A**, 500 do **B** e 500 do **C**. Um programa de produção nivelado seria o seguinte:

A - B - A - C - A - B - A - C - Isto é a adaptação diária.

Em casos reais, obter a sequência ótima do programa do mix de produção é um tanto difícil, mas em empresas como a Toyota estão sendo desenvolvidos programas de computador para executar esta tarefa.

2.3.2.2 - O Sistema KANBAN

O Kanban é o elemento mais conhecido do sistema *Just-In-Time*. É um procedimento que ganhou tanta popularidade que chega até a se confundir com o próprio JIT.

Na verdade, podemos dizer que o Kanban é o meio para se administrar o JIT -MONDEM (1984). É um sistema de controle de fluxo de materiais ao nível do piso da fábrica, desde o almoxarifado de matérias-primas até o armazém de produtos acabados. Em alguns casos, se estende ao controle de materiais distribuídos ou recebidos de fornecedores. Além desta função de controle de produção, segundo MONDEM (1984), o Kanban também funciona para prover um contínuo melhoramento da produtividade, através do controle do número de cartões, que serve para identificar as áreas com problemas e avaliar os resultados das mudanças.

Normalmente, o Kanban é um cartão ou uma placa retangular, colocada num local bem visível, no recipiente que contém os produtos e num quadro específico para tal finalidade (quadro de Kanbans). Existem dois tipos de cartões: KANBAN DE PRODUÇÃO e KANBAN DE REQUISIÇÃO.

O Kanban de Requisição especifica o tipo e a quantidade do produto que o processo subsequente deverá retirar do processo precedente, enquanto que o Kanban de Produção especifica o tipo e a quantidade do produto que o processo precedente deverá produzir. A figura 13 ilustra os dois tipos de cartões e mostra as informações que eles podem conter;

N. da Prateleira de Estoque 5E215		Abreviação do item A2-15	Processo precedente FORJARIA B-2
N. do item 35670507		Nome do item PINHÃO DA DIREÇÃO	Processo subsequente USINAGEM B6
Tipo de Carro SX50BC			
Capacidade da caixa 20	Tipo de caixa B	N. de emissão 4/8	

N. da prateleira de estoque F26-18	Abreviação do item	Processo
N. do item 56790-321		USINAGEM
Nome do item VIRABREQUIM	A2-15	SB-8
Tipo de carro SX50BC-150		

FIGURA 13 - Kanbans de Requisição e de Produção.
MONDEM (1984)

É compreensível que cada empresa desenvolva os seus próprios cartões, com alguma informação a mais ou a menos. Nos cartões acima, o "n. da prateleira de estoque" é o endereço da caixa do produto; o "tipo de carro" indica o tipo de equipamento para transporte das caixas e o "n. de emissão" é a quantidade de cartões iguais a esse que existem.

O funcionamento do sistema, com os dois Kanbans, pode ser ilustrado pelo exemplo a seguir, relatado por MONDEM (1984):

- suponha a fabricação de três produtos: **A**, **B** e **C**, numa linha de montagem. As peças necessárias para a produção

desses produtos são **a** e **b**, as quais são produzidas pela usinagem, que é a fase precedente. Essas peças são estocadas atrás da linha que as produz e os Kanbans de Produção são fixados nas caixas que contêm essas peças. O abastecedor da linha de montagem que produz o produto **A** vai para a usinagem retirar as peças necessárias com um Kanban de Requisição e as caixas vazias (ele realiza essa operação quando um número pré-determinado de cartões de requisição tiver sido acumulado no posto). No estoque, ele apanha algumas caixas (cheias) dessas peças de acordo com os Kanbans de Requisição que tem em mãos, e destaca os Kanbans de Produção que estavam fixados nas caixas dessas peças. As caixas, então, são trazidas para a linha de montagem junto com os Kanbans de Requisição e os Kanbans de Produção são colocados num Quadro de Kanbans, que é um quadro de programação. Ele também deixa as caixas vazias no local designado pelo pessoal da usinagem.

Assim os Kanbans de Produção estão a esquerda do estoque da linha de usinagem, mostrando o número de unidades retiradas, e a sequência dos cartões no quadro mostra aos operários o pedido de envio dos serviços no processo. Estes Kanbans contêm as informações que são enviadas para a linha de usinagem. A peça **A** é então produzida na quantidade exata para aquele número de Kanbans. Nessa linha de usinagem, de fato as peças **a** e **b** são retiradas mas são produzidas, de acordo com a ordem indicada pelos Kanbans de Produção. A sequência é repetida e a produção é continuada. Esse fluxo está representado na figura a seguir.

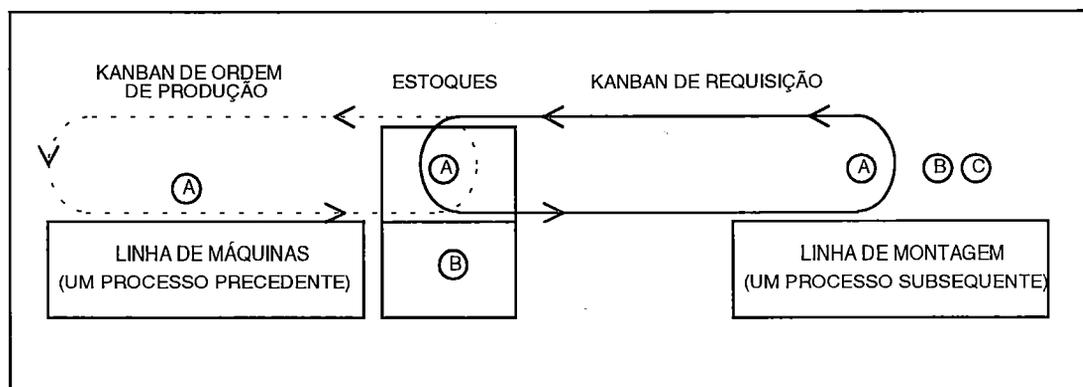


FIGURA 14 - Kanban com dois cartões
MONDEM (1984)

Pelo que foi explicado do funcionamento do Kanban, percebe-se que o Kanban de Requisição opera entre dois setores produtivos (o precedente e o subsequente), enquanto que o cartão de Produção opera dentro de um único setor, o que está ilustrado na figura 15.

Uma variante do sistema Kanban muito empregada pelas empresas é o sistema de cartão único, onde trabalha-se com apenas um cartão, que funciona como cartão de produção ou como cartão de produção e requisição concomitantemente.

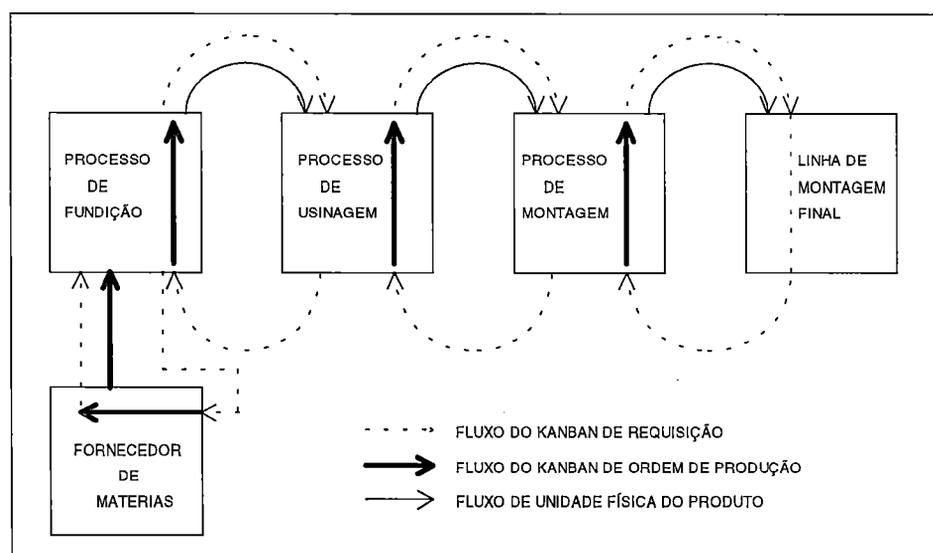


FIGURA 15 - Corrente de Kanbans
MONDEM (1984)

AS REGRAS DO KANBAN

Para que o sistema funcione corretamente, as seguintes regras devem ser seguidas :

- 1) qualquer retirada de material sem o Kanban ou maior que o estabelecido nos cartões é proibida;
- 2) o Kanban deve ser sempre afixado ao produto físico;
- 3) o processo precedente deve produzir somente nas quantidades requisitadas pelo processo subsequente;
- 4) produtos com defeitos não devem ser enviados ao processo subsequente;
- 5) as peças devem ser produzidas de acordo com a sequência dos Kanbans de Produção no quadro;
- 6) quando as unidades são completadas no processo, elas e o Kanban de produção devem ser colocados no estoque da célula, para que o abastecedor do processo subsequente possa retirá-las a qualquer tempo.

Quanto ao número de Kanbans, o número de cartões de requisição é igual ao número de cartões de produção, no caso de sistema com retirada constante. O número real de Kanbans deve ser determinado em cada seção da fábrica por tentativa e erro, até encontrar-se o valor adequado. E isso é um processo dinâmico, quer dizer, o valor pode mudar ao longo do tempo, devido a flutuações na demanda ou melhoramentos de processo. Nesse processo, tem fundamental importância a participação dos supervisores das seções, que têm a autonomia para ajustar o número de cartões - MONDEM (1984). Vale dizer, todavia, que o fator que tem determinado o tamanho do lote de produção é o tempo de preparação de máquinas. Assim, o

lote é calculado para durar um tempo múltiplo do tempo de set-up, levando-se em conta fatores de ordem econômica. A fórmula a seguir, extraída de MONDEM (1984), serve de referência para a determinação do número de cartões (n):

$$n = \frac{D/f + d \times s}{c} \quad (1)$$

onde: D = demanda mensal

f = número mensal de troca de ferramentas

d = demanda diária

s = coeficiente de segurança

c = capacidade do contentor

Percebe-se que o Kanban propicia melhoramentos contínuos: se a demanda média diária aumenta, o tempo de espera deve ser diminuído, para manter o número de cartões constante. Isso significa que a seção da fábrica em questão deve melhorar o tempo de produção, de set-up, etc. O sistema propicia o melhoramento a partir de pequenos aperfeiçoamentos, que vão ocorrendo no dia-a-dia.

O objetivo é determinar o número mínimo de Kanbans, pois número de cartões significa estoque em processo. Dessa forma, o número de Kanbans é um indicativo do desempenho de uma seção - quanto menos cartões, melhor o desempenho da seção.

Internamente às empresas é usado o Kanban de Sistema de Retirada com Quantidade Constante (ciclo não constante). Nesse sistema, o abastecedor de um processo se dirige para o processo precedente quando um número predeterminado de Kanbans de Requisição tiver sido acumulado em seu posto. Então ele retira do depósito da estação precedente uma quantidade de peças de acordo com os Kanbans de Requisição que tem em mãos.

No caso do setor precedente ser um fornecedor, é utilizado o Kanban de Requisição Periódica (ciclo constante). Neste caso, o fornecedor entrega as peças em períodos de tempo regulares, pre-determinados pelo consumidor. O ciclo do pedido ou ciclo do Kanban é o intervalo de tempo (geralmente expresso em dias) entre a execução do pedido de produção pela linha e a execução do próximo pedido de produção.

De modo que o sistema Kanban é uma técnica para manter o fluxo de produção uniforme, possuindo uma capacidade de auto-regulagem para manter tal objetivo. No entanto, o Kanban é capaz apenas de adaptar pequenas variações de demanda. De acordo com a Toyota [MONDEM (1984) e AGGARWAL (1985)], o Kanban pode suportar variações na demanda de até 10%. Grandes flutuações, desde que sazonais, podem ser acomodadas pelo ajustamento do plano de produção mensal.

AVALIAÇÃO DO "JUST-IN-TIME"

Segundo AGGARWAL (1985), as companhias japonesas que empregaram o JIT por 5 ou mais anos notaram um incremento de 30% na produtividade, 60% na redução da papelada, 90% na rejeição da qualidade e 15% de redução de área de trabalho. E segundo MONDEM (1984), em 1980 o giro médio de inventário (= vendas por ano/inventário médio) na Toyota foi igual a 87; em outras palavras, o período de inventário mensal foi de 0,138 meses ou 4 dias. Isso quer dizer que a Toyota tinha inventário (incluindo materiais) para somente quatro dias de vendas. À isso tem que ser adicionado que a empresa vem obtendo esses citados números por diversos anos consecutivos e, em alguns casos, melhorando-os.

GELDERS & WASSENHOVE (1985) e AGGARWAL (1985), afirmam que o JIT só terá uma história de sucesso se ele atuar sob as condições que não lhe são desfavoráveis, como demanda equilibrada, variações no mix de produtos suaves, fornecedores confiáveis etc.

CHU & SHIH (1992) apresenta uma série de conclusões muito interessantes, acerca da implicação dos fatores de produção no desempenho de um sistema "Just-In-Time". Essas conclusões são baseadas em vários artigos, que apresentam estudos e simulações realizados por seus autores. Entre as principais, destacam-se as seguintes:

- 1) alguns estudos têm mostrado que simplesmente aumentar o número de Kanbans (nível de inventário) não resolve o problema dos gargalos. Estes devem merecer uma atenção especial e devem ser tratados individualmente; os esforços devem ser concentrados em reduzir o tempo de processamento (que inclui o tempo de set up e o tempo de operação propriamente dito). Para isso duas soluções são apresentadas:
 - i) o deslocamento de trabalhadores mais habilidosos (e mais rápidos) para o posto gargalo e
 - ii) a automação da estação-gargalo;

- 2) foi demonstrado que, em sistemas de "puxar" com um certo grau de variabilidade no estágio de montagem final, há um efeito de transmitir e ampliar a variação para a entrada do processo. Isso porque o estágio final (de montagem) é a chave que dispara todo o sistema de puxar; portanto é imperativo reduzir a variabilidade no estágio de montagem final;

- 3) foi também demonstrado que não há maiores diferenças de utilização entre sistemas com um cartão ou dois, se o tempo de produção das peças é o mesmo.

2.3.3 - O Sistema MRP/MRP II

2.3.3.1 - Introdução

O MRP começou a ser desenvolvido no final da década de 50, com o avanço da computação e, inicialmente, objetivava apenas o **Planejamento das Necessidades de Materiais** ("*Material Requirement Planning*"). Depois, integrando-se novas atividades de planejamento e controle de produção e outras atividades administrativas, passou a ser chamado de **Planejamento dos Recursos de Manufatura** ("*Manufacturing Resource Planning*"), conhecido pela sigla de **MRP II**. Assim, o MRP II contempla um completo sistema de Planejamento e Controle da Produção integrado por computador, contendo, além da Administração de Materiais (o MRP), rotinas de gestão da produção. O criador do sistema foi um americano chamado Orlicky, que em 1975 lançou a primeira grande publicação acerca do sistema.

Até 1971 havia cerca de 150 empresas utilizando MRP nos Estados Unidos, país berço do sistema. Após 1971, foi desenvolvido naquele país pela APICS ("*American Production And Inventory Control Society*" - Sociedade Americana de Controle da Produção e Inventário), apoiada pelos grandes fabricantes de computadores, um programa nacional de publicidade e educação sobre o sistema, e já em 1974 cerca de 700 empresas utilizavam o MRP. E em 1981, cerca de 8000 sistemas de MRP existiam nos EUA - SILVER & PETERSON (1984). E, de acordo com uma pesquisa recente da APICS, cerca de dois terços das empresas consultadas nos EUA utilizavam o MRP. Isso mostra a evolução da penetração do sistema.

O programa realiza o tratamento informatizado dos dados relativos a produção dos produtos, como ordens de serviço, estoques, disponibilidades de pessoal, capacidade instalada, desempenho teórico das estações de trabalho e outros mais. E, devido a quantidade e a complexidade desses dados, que são dinâmicos e precisam ser tratados simultaneamente, é que se torna necessário o emprego da informática. Deve-se, também, considerar a tarefa da reprogramação, uma vez que o PCP trabalha com o futuro. E, para fazer tais reprogramações na velocidade necessária, é imprescindível os recursos da informática. Assim, o MRPII torna viável a tarefa de se executar constantes revisões nos programas de produção.

Um sistema MRP devidamente implementado funciona em três áreas diferentes:

- 1 - planeja e controla os estoques, avaliando a situação de cada item e estabelecendo ordens planejadas de cobertura automaticamente;
- 2 - planeja as prioridades das ordens;
- 3 - propicia dados para o sistema de planejamento das necessidades de capacidade.

Além disso, o MRPII abre a possibilidade de se executar simulações, com as quais a empresa pode ir adquirindo uma base de dados para se preparar para alcançar a flexibilidade em termos de variação de demanda, além, é claro, de testar o desempenho da empresa frente a variações de múltiplos parâmetros. Para representar a estrutura do MRP(II), é apresentada a figura a seguir, pela qual pode-se perceber que o sistema

contempla uma grande integração, influência e dependência entre as diversas áreas funcionais da organização.

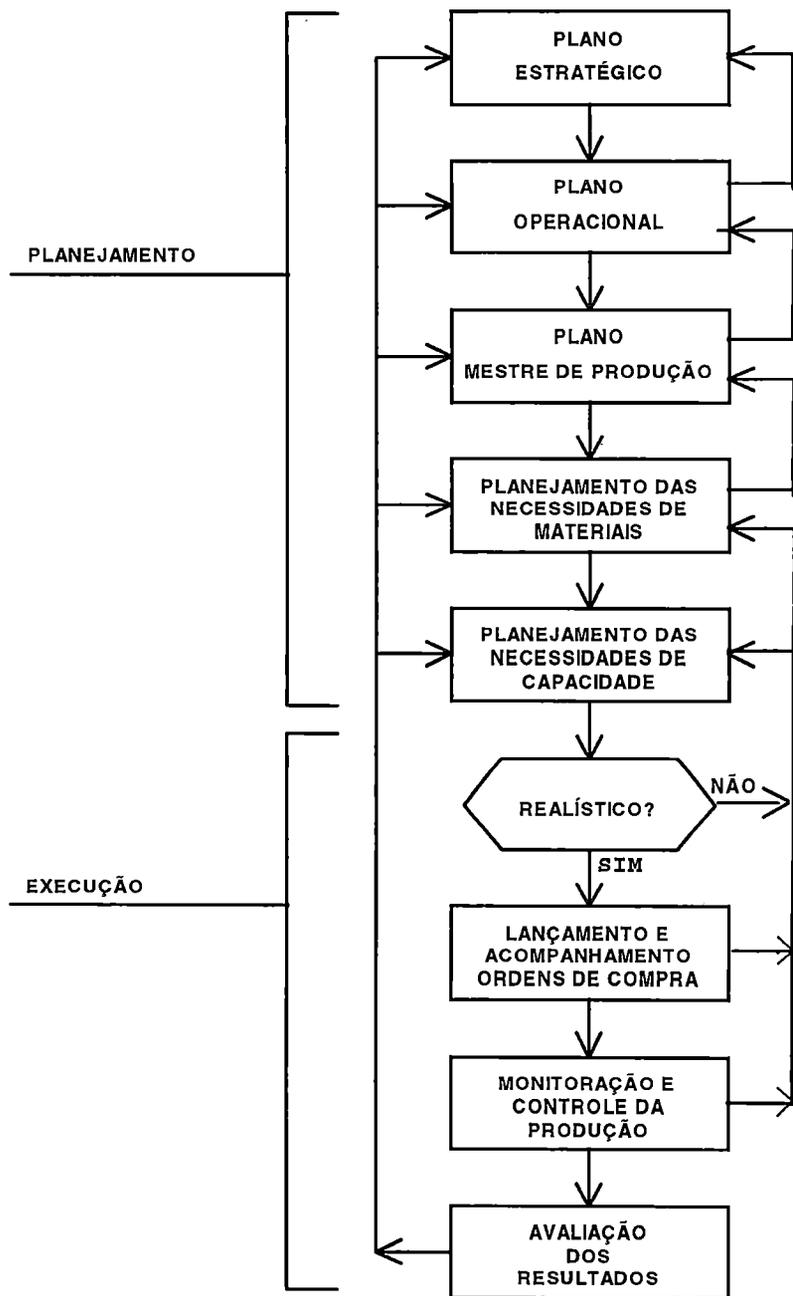


FIGURA 16 - O MRPII

RESENDE & SACOMANO (1991)

Assim, o MRPII é um sistema de informações que permite que sejam determinados todos os recursos necessários para a execução da produção. O funcionamento em ciclo fechado permite que os resultados obtidos na operação da fábrica sejam comparados com os padrões estabelecidos pela administração.

O MRP é o subsistema de emissão de ordens do MRPII. Ele toma por base o Programa Mestre de Produção. O objetivo do MRP, segundo CORIAT (1988) é, a partir de uma base de previsões flutuantes (em especial sazonais), programar com antecedência a ocupação das instalações, máquina a máquina, peça por peça, ao longo de uma unidade de tempo.

O MRP é, assim, uma técnica de adaptação as flutuações do mercado. Realiza tal adaptação fazendo um ajustamento por antecipação e preparando as ordens período por período, e prevendo os estoques de peças. Trata-se de uma técnica de correção, ao longo do tempo, da utilização ótima das capacidades instaladas em caso de demandas fortemente variáveis.

2.3.3.2 - Estrutura Funcional do Sistema

O MRP, conforme ORLICKY (1975), consiste de um conjunto de procedimentos logicamente relacionados entre si, regras de decisões e arquivos de informações (os quais são as entradas dos sistemas), projetados para transformar um plano mestre de produção em necessidades líquidas "time-phased" e fazer a cobertura de tais necessidades para cada item do estoque.

A lista de materiais é o documento de engenharia que define o produto, relacionando as partes componentes de cada conjunto e subconjunto. Deve refletir, através de seus níveis de estrutura, o modo como o material é deslocado do e para o estoque. Assim, para um sistema MRP, espera-se que a lista de materiais especifique não só a composição do produto como também o estágio do processo de fabricação. Deve definir a estrutura do produto em termos de níveis de fabricação, cada qual representando o término de uma fase da produção-RESENDE (1989). A seguir, apresenta-se um exemplo de uma Lista de Materiais e de uma Árvore de Estrutura do Produto, correspondentes a um guincho.

LISTA DE MATERIAIS				
CONJUNTO CG 01				NÍVEL 0
parte	descrição	quant.	unid.	nível
C 100	Conjunto do Carro	1	peça	1
1100	Eixo do Carro	4	"	2
1200	Roda do Carro	4	"	2
1300	Estrutura do Carro	1	"	2
R 100	Redutor	1	"	1
G 100	Cabo com Gancho	1	"	1
1400	Cabo	20	m	2
1500	Gancho	1	peça	2
S 100	Comando Suspenso	1	"	1
1600	Corda 3 fios	5	m	2
1700	Botoeira	1	peça	2

FIGURA 17 - Lista de materiais de vários níveis

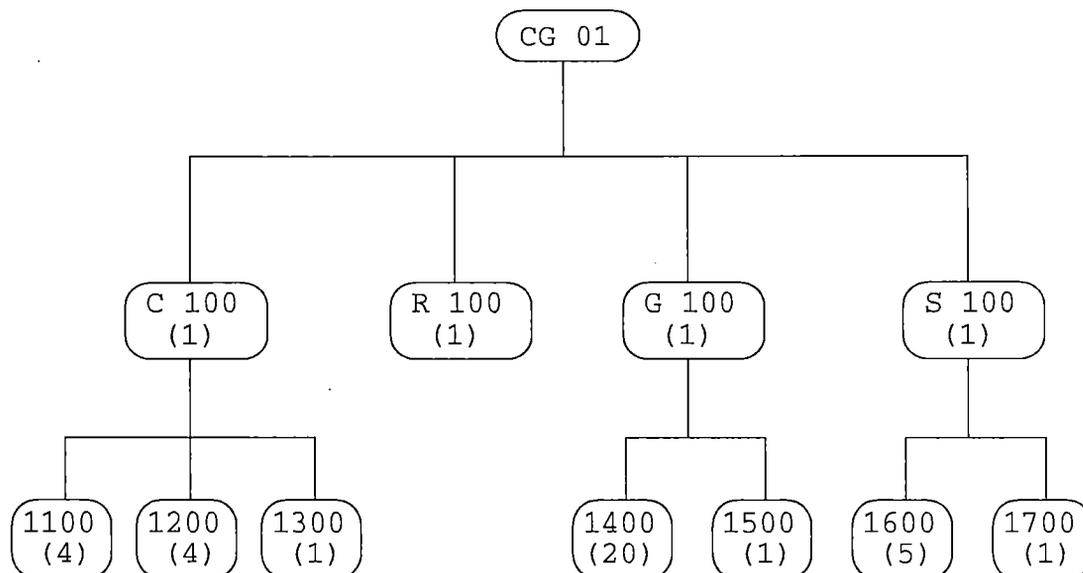


FIGURA 18 - Árvore de estrutura do produto

Nota-se que as listas individuais que definem um produto quando ligadas graficamente formam uma estrutura hierárquica piramidal e os níveis se sobressaem. O nível 0 (zero) corresponde ao produto final. Existe um elo lógico entre itens de níveis contíguos da estrutura do produto, que é a ordem planejada do item-pai a ser liberada e a necessidade bruta do item-componente (o nível superior é denominado item-pai do item-componente correspondente ao nível imediatamente inferior. Estas devem coincidir em quantidade e no tempo, porque o item-componente deve ser programado para estar disponível na ocasião em que a ordem do item-pai for liberada para produção e, portanto, na qual o item-componente deverá ser consumido.

A figura a seguir retrata as relações entrada-saída de um sistema MRP.

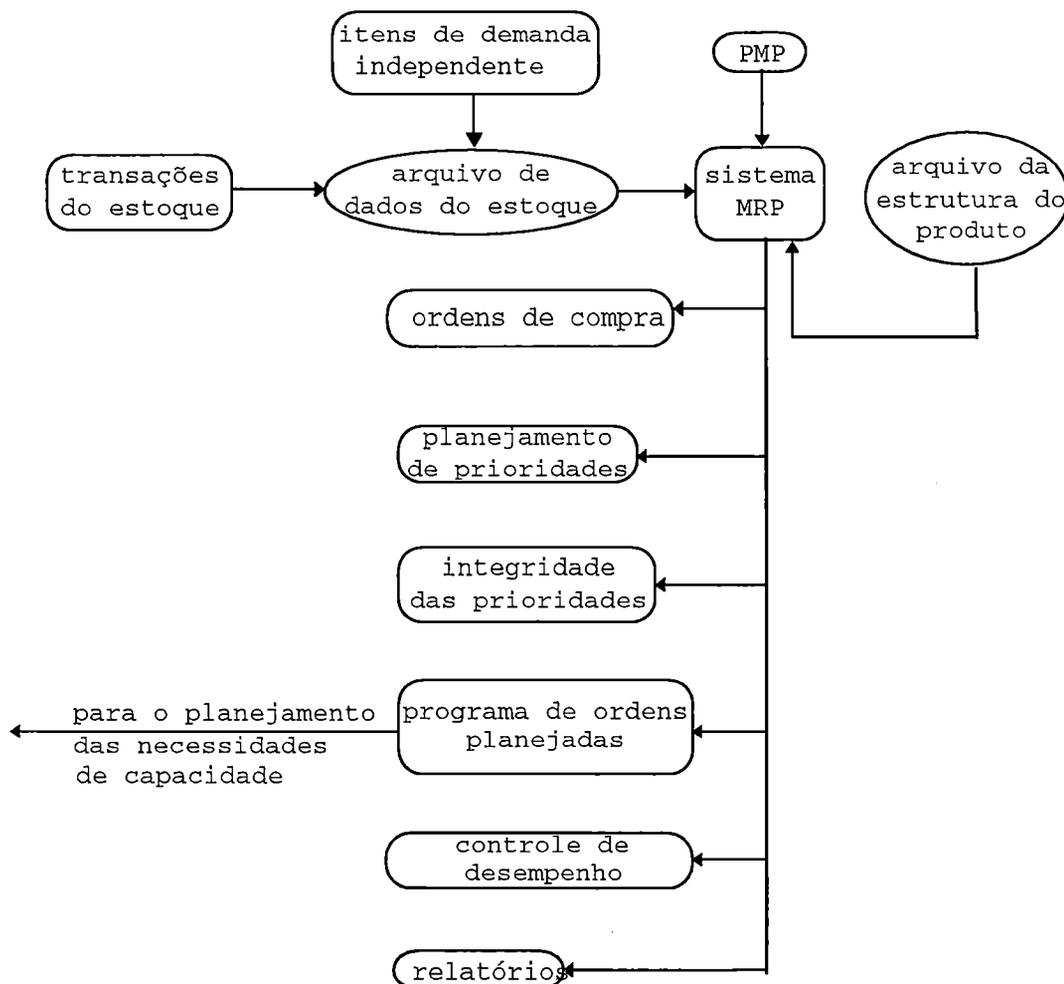


FIGURA 19 - Sistema MRP: relações entrada-saída

Fonte: ORLICKY (1975)

O Plano Mestre de Produção (PMP) é o documento que, na realidade, vai determinar o que deve ser produzido e quando. É necessário que esse plano seja realístico e atingível, pois senão o MRP não trabalhará bem - ORLICKY (1975). Deve-se atentar que o fluxo de caixa está implícito no PMP, pois sendo conhecida a demanda futura (previsão) e também o nível de inventário atual, existe condições de projetar a quantidade de mão-de-obra e inventário necessários para o futuro, identificando assim os problemas de fluxo de caixa.

Entre as principais atividades de um programa MRP está a liberação de ordens. Esta ocorre a todo instante e é muito visível. O controle de produção acompanha o andamento das ordens liberadas, de compra e fabricação. Se houver "estouro" de prazo é necessário fazer reprogramação. O planejamento da capacidade verifica se existem altos e baixos ou sobrecargas de trabalho, para se tomar as medidas necessárias com antecedência e também verificar se há possibilidade de atender um pedido adicional de vendas urgente. É necessária a manutenção de registros, que se refere a acuracidade e a fidelidade dos registros que alimentam o sistema.

A estratégia de controle da produção do MRP se baseia nos seguintes princípios, de acordo com ORLICKY (1975); GELDERS & WASSENHOVE (1985) e SWANN (1986):

- i) a idéia de repor estoques é equivocada. O correto é ter o item disponível no momento necessário;
- ii) métodos computacionais permitem estabelecer as necessidades em termos de quantidade numa base de tempo (o chamado *time-phased*) de forma precisa;
- iii) o tamanho do lote é o mesmo para todas as operações de uma mesma tarefa e o dimensionamento do lote deve ser feito com técnicas discretas de dimensionamento, descartando portanto o lote econômico clássico;
- iv) o emprego das técnicas de MRP deve ser feito com dados de previsão de demanda de médio prazo (no geral 10 a 18 meses), já que se admite longos lead-times. Deve-se trabalhar com o menor horizonte de planejamento possível. Observe-se que se forem reduzidos os tempos de preparação, os tamanhos dos lotes e os lead-times, o grande poder computacional do MRP ficaria totalmente sub-utilizado;

- v) deve ser tomado muito cuidado com a precisão dos dados que alimentarão o sistema, pois se entrar lixo sairá lixo;
- vi) demanda independente de um item deve ser prevista, enquanto que demanda dependente deve ser calculada. A demanda de um item é independente se ela não está relacionada com a demanda de nenhum outro item; caso contrário, é dependente. Por exemplo: a demanda de determinadas engrenagens está relacionada com a demanda de redutores de velocidade. - temos então uma demanda dependente. Esse é um conceito fundamental para o MRP.

O MRP trabalha com uma representação *time-phased* do item do estoque. Essa representação é do tipo representado na figura 20, onde:

- **necessidade bruta** é a quantidade do item que deverá consumida e consta na lista de materiais do produto;
- **necessidade líquida** é a diferença entre a necessidade bruta e a quantidade existente (= quantidade em mãos + quantidade programada) do item.

	PERÍODO			
	1	2	3	4
Tempo de obtenção: 3				
Necessidade Bruta	10	15	75	17
Recebimentos Programados	8		25	
Necessidades Líquidas				12
Em Mãos	72			
Ordens Planejadas p/ Liberação	20			

FIGURA 20 - Representação *Time-Phased* do MRP

O MRP processa, isto é, faz a chamada "explosão" de necessidades, a partir do plano mestre de produção, de cima para baixo, da estrutura do produto, nível por nível, guiado pela ligação lógica dos registros dos itens em estoque. As necessidades brutas dos níveis mais elevados são processadas contra o estoque disponível (em mãos e encomendado) para determinar as necessidades líquidas, que são então cobertas por ordens planejadas. A quantidade e o prazo da ordem planejada determinam, por sua vez, a quantidade e o prazo das necessidades brutas dos itens-componentes do nível imediatamente inferior. Este procedimento é repetido para os sucessivos níveis inferiores, até que seja alcançado um item-componente comprado, que pode ser uma matéria-prima ou uma peça. Nesse ponto termina a explosão.

Para atualizar os dados do MRP, uma tarefa de fundamental importância, existem dois métodos, que se distinguem pela frequência de replanejamento, que é um parâmetro importante no projeto do sistema. São:

- 1) **Sistema Regenerativo**, em que o processo de explosão se faz nível a nível por toda a estrutura do produto, para todos os itens do Plano Mestre de Produção. **Replanejamento semanal** é o que melhor se pode fazer com este tipo de sistema.
- 2) **Sistema de Mudança Líquida** - em que se utiliza a técnica *net change*, que permite "explosões parciais" em vez da explosão completa. Através do uso desta técnica, somente os registros dos itens em estoque que foram afetados por uma mudança são reprocessados e somente as listas de materiais pertinentes a esses

registros são resgatadas durante o processamento. Esta forma de operar permite até **replanejamento diário**.

A maioria dos sistemas MRP (90%) são regenerativos -[ANDERSON et al. apud FERNANDES (1991)] - para evitar o nervosismo, a ansiedade e a insegurança que o uso do sistema de mudança líquida pode trazer, devido às constantes alterações que normalmente ocorrem e que sempre geram expectativa quanto ao respectivo resultado. Por outro lado, de acordo com o próprio ORLICKY (1975), o sistema regenerativo tende a funcionar mais satisfatoriamente quanto mais estável for o ambiente de trabalho, já que, no geral, ele está desatualizado (lembrar que ele trabalha com reprogramação semanal).

AVALIAÇÃO DO SISTEMA

O MRP é uma técnica de gestão da produção que aproveita bem as instalações da empresa quando submetida a flutuações expressivas de fabricação de produtos, impostas pelo mercado. E nos dias atuais a adaptação às flutuações de demanda tem um papel preponderante na vida das empresas.

Durante as considerações traçadas sobre o MRP, notou-se a grande importância que tem para o sistema o Plano ou Programa Mestre de Produção (PMP). A ponto de, para Orlicky, o criador do MRP, não adianta se pensar em MRP sem antes se ter um PMP bem elaborado, que reflita com fidelidade a real situação dos elementos da produção. O PMP é a base para os procedimentos quantitativos do MRP, tanto de curto quanto de longo prazo. Por isso, ele

deve ser rigorosamente atualizado, com a mesma regularidade do MRP (por exemplo semanalmente).

Inegavelmente, o MRP é um avanço frente ao sistema tradicional de PCP, que trabalha com pontos de reencomenda. E, pelo que relatam as pesquisas e a literatura, o MRP se mostra mais vantajoso a medida que aumentam os níveis da estrutura do produto (de acordo com pesquisas realizadas por Aggarwal, o número médio de níveis entre os usuários era seis) e a medida que aumentam os números de itens a controlar (pelas pesquisas de Aggarwal, a média gira em torno de 1500 itens finais e cerca de 13000 itens intermediários e de terceiros).

Segundo AGGARWAL (1985), 90% dos usuários de MRP não gosta de trabalhar com o sistema, pois ele não consegue motivar os empregados e exige destes, em todos os níveis, uma estreita disciplina e o fornecimento de uma quantidade muito elevada de dados.

2.3.4 - O Sistema OPT

2.3.4.1 - Introdução: a Teoria das Restrições

A teoria do Gerenciamento das Restrições (GDR) tem um conceito de restrição (gargalo) bem genérico, pois considera que não somente uma máquina ou equipamento pode ser uma restrição, mas também um funcionário ou uma seção da empresa. [FOGARTY; BLACKSTONE; HOFFMANN (1991)].

Diante da identificação de um recurso como restrição, o GDR procura trabalhá-lo e fazer com que ele deixe de ser restrição. Pode-se perceber que um recurso é

restrição num momento e depois de trabalhado deixa de ser restrição, passando a restrição a ser um outro recurso.

Com base em GELDERS & WASSENHOVE (1985) e [FOGARTY; BLACKSTONE; HOFFMANN (1991)], podemos apresentar os princípios que regem a Teoria das Restrições:

1) Balancear o fluxo e não a capacidade

Porque balancear a capacidade na manufatura intermitente só pode ser tentada de uma forma: manter um alto volume de estoque em processo e adiantar a fabricação de peças. Já balancear o fluxo significa usar a capacidade dos recursos de acordo com as necessidades exatas. Assim sendo, a capacidade será usada em 100% apenas nos recursos gargalos. O GDR assume a manutenção de uma linha desbalanceada e a criação de pulmões de material para os gargalos.

2) A utilização dos recursos não-restrições é determinada pelas restrições do sistema

Os recursos que são restrições marcam o passo do sistema, ou seja, o nível de utilização dos recursos não-restrições é determinado pelas necessidades dos recursos gargalos, cuja capacidade é que determina o volume de produção.

3) Capacidade e prioridade devem ser considerados simultaneamente e não sequencialmente

O objetivo é atender as prioridades dentro da capacidade, e não maximizar a utilização da capacidade. É um princípio de racionalização.

Um ponto interessante dentro do Gerenciamento das Restrições é que uma empresa pode obter um rápido crescimento nos lucros por:

- (1) um incremento na sua produção, construindo um pulmão de material para o gargalo;
- (2) simplesmente alterando o quadro de produtos, produzindo mais aquele(s) que não carrega(m) o recurso-restrição.

De acordo com [FOGARTY; BLACKSTONE; HOFFMANN (1991)], a realização de uma previsão de demanda, com base num horizonte de planejamento, permite uma razoável programação da produção, e com esta, pode-se verificar qual o recurso mais carregado. Com isso, pode-se ter uma previsão de qual recurso pode se tornar gargalo. E, usando o horizonte de planejamento de um ano, elimina-se o efeito da sazonalidade. Dessa, o recurso mais carregado para o próximo ano é eleito como restrição.

Na prática, o administrador da fábrica administra constantemente o gargalo; controla a margem de contribuição e o tempo de produção unitário de cada produto na restrição. Em função da demanda, altera a capacidade do gargalo, com redução do tempo de preparação, adição de turnos de trabalho, aumento do tamanho do lote ou até investimento adicional, como última opção. A programação de operações, que era num ambiente job-shop, fica restrita ao problema de programação de máquina única, que é bem mais simples.

A grande meta do Gerenciamento das Restrições, segundo GOLDRATT (1986), é ter um sistema integrado de informações gerenciais que supere e unifique as

informações de materiais e recursos fornecidos por um sistema MRPII e as informações relativas ao dinheiro aplicado no processo de produção. A implantação de um sistema deste tipo, no entanto, só será factível após uma profunda mudança na cultura da empresa, implantando com bom senso a filosofia contida no GDR e utilizando alguns conceitos do próprio Just-In-Time.

CONSIDERAÇÕES SOBRE O GDR

Uma objeção comum ao Gerenciamento das Restrições é a noção de que existem muitas restrições interagindo simultaneamente numa empresa. Mas, segundo [FOGARTY; BLACKSTONE; HOFFMANN (1991)], isto não é verdade. As empresas que têm implementado GDR a princípio pensaram que tinham encontrado muitas restrições, mas, depois de uma análise mais profunda, verificaram que, na verdade, poucas delas eram restrições constantes e que elas raramente interagem. E mais: descobriram que mover o gargalo da fábrica para o setor de Vendas é muito mais fácil do que eles imaginavam.

Até o presente momento, de acordo com a mesma publicação, a maioria das empresas que implantaram GDR têm relatado a eliminação dos gargalos entre um e seis meses da implantação. E muitas eliminaram os gargalos do chão-de-fábrica sem investir em capacidade adicional. Esse resultado foi obtido pelo uso de operários multifuncionais, que podem operar vários equipamentos, desviando carga de um equipamento muito carregado (o gargalo) para o processamento em outro equipamento mais livre.

Como o GDR é uma teoria relativamente nova, até agora existem poucas empresas utilizando-a e apenas uma minoria delas tem relatado os resultados. Dessa forma, se conhece muito pouco acerca do desempenho do sistema na indústria.

Em [FOGARTY; BLACKSTONE; HOFFMANN (1991)], encontram-se alguns resultados relatados por empresas. Como a GM Windsor, de Ontário, que chamou seu sistema de planejamento da produção de Manufatura Sincronizada. Eles descrevem esse sistema como um amálgama de Gerenciamento das Restrições e Just-In-Time. Esse sistema permitiu a empresa aumentar o seu número de giro de inventário por ano de 17,3 para 50,4, além de diminuir em 94% o *lead-time* e atingir uma redução de despesas anual de 23 milhões de dólares, e aumentar a produção em 16,8%. Ou seja, a empresa passou a produzir mais com menor custo e em menor tempo. Outras empresas como a AT & T microeletrônica e a Du Pont relatam resultados semelhantes, com a primeira chamando seu sistema de Senso Comum de Manufatura.

Para alguns autores, o Gerenciamento das Restrições, com o emprego do OPT (seu software de programação, que discutiremos a seguir) é o mais poderoso método conhecido até o momento para gerenciamento da produção.

2.3.4.2 - O OPT

OPT é a sigla de "*Optimized Production Technology - Tecnologia de Produção Otimizada*". Trata-se de um software de programação da produção criado pelo Dr. Eliyahu Goldratt no início da década de 80 e que se insere no contexto do Gerenciamento das Restrições.

Na verdade, o OPT é muito mais conhecido que o GDR, principalmente aqui no Brasil, e acaba até se sobrepondo a este (como o caso do Kanban com o JIT). Mas, de fato, o GDR é a metodologia, a teoria, e o OPT é o programa que viabiliza essa teoria. Não são divulgados detalhes de como o OPT realiza a programação da produção (seu algoritmo), sendo que esse sistema é praticamente uma "caixa preta". Apenas sabe-se que o sistema lança mão largamente das técnicas de Pesquisa Operacional.

De acordo com AGGARWAL (1985) e FERNANDES (1991) podemos citar algumas características do OPT:

- 1) possui uma capacidade de modelagem da produção bastante grande, permitindo que se especifiquem os níveis desejados de estoque em cada operação, os limites dos tamanhos dos lotes por operação e as folgas na programação de operações;
- 2) como no MRPII, é possível usar o sistema para o planejamento da capacidade de produção de médio prazo, dependendo do horizonte que os dados cobrem;
- 3) o sistema pode ser dirigido pela meta de produzir um *mix* de produtos fixo ou por pedidos individuais de clientes, com prescrição de prazos de entrega, ou pela combinação de ambos;
- 4) o sistema realiza a programação a partir de dados como data de entrega de produtos, nível de estoque desejado e máquina gargalo. O OPT projeta então a capacidade dos gargalos e **realiza uma programação separada para gargalos e não-gargalos.**

- 5) o OPT admite a sobreposição ("overlapping") de operações.
- 6) o OPT defende que o tamanho do lote deve ser determinado em função de dados dinâmicos. Por exemplo, o custo de certa preparação de máquina pode tanto ser zero ou milhares de dólares, dependendo do item passar ou não por gargalos.
- 7) como as incertezas podem variar a capacidade dos gargalos, o OPT tem dificuldade em trabalhar com incertezas.

O OPT é capaz de realizar simulações e assim avaliar as consequências de, por exemplo, mudança no Programa de Produção, introdução de novos roteiros de fabricação etc. E permite também que se faça um "trade-off", ou seja, uma avaliação entre custo de preparação de máquinas e datas de entrega, por exemplo, para verificar quanto se piora um item ao melhorar outro.

A ESTRUTURA FUNCIONAL DO OPT

Todos os dados de entrada, tanto manuais (como o Programa Mestre de Produção) quanto os arquivos de dados do MRP (listas de materiais, roteiros de fabricação, "status" dos estoques), são combinados pelo módulo **BUILTNET** e armazenados numa rede consolidada (**PRODUCT NETWORK**) para cada produto final, de forma a agilizar o tempo de processamento do computador. Após a entrada de um PMP qualquer, o OPT avalia quão realizável ele é, convertendo no módulo **SERVE** as necessidades em termos de componentes. Com base no cálculo de capacidades

necessárias feito pelo SERVE (que é similar ao módulo CRP do MRPII), o módulo **SPLIT** separa os recursos gargalos dos não-gargalos e então entra-se na fase de programação de operações, que é realizada da seguinte forma:

- às operações processadas em recursos gargalos é aplicado o OPT;
- às operações processadas em recursos não-gargalos, o próprio módulo SERVE fornece uma programação.

Se o PMP fornecido ao sistema levou a um programa de operações não-exeqüível, o sistema retorna a um bloco no qual são alteradas as disponibilidades dos recursos gargalos (horas extras, turnos adicionais) e/ou certas tarefas são subcontratadas ou então são alteradas as datas devidas. O processo é iterativo até que o PMP se torne exeqüível. A figura a seguir representa o que foi descrito.

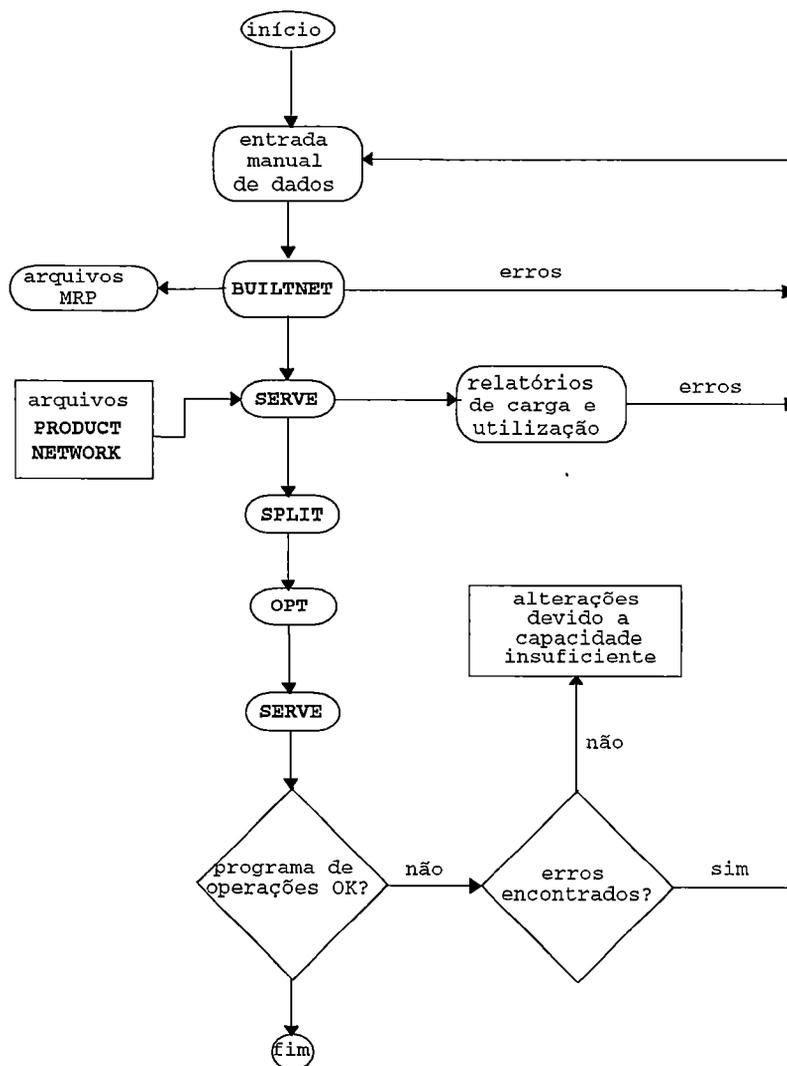


FIGURA 21 - Fluxograma de funcionamento do OPT
Baseado em MELETON (1986)

AVALIAÇÃO DO OPT

Assim como o MRPII, o OPT depende totalmente dos dados que ele requer como entrada. Sendo assim, é preciso muita atenção e disciplina no fornecimento dos dados necessários para o programa rodar. Comparado ao MRPII, o OPT até que exige dados de mais fácil obtenção, e com base num horizonte de tempo menor (até dois meses), o que diminui a incerteza.

De acordo com AAGGARWAL (1985), o OPT pode ser implementado em dois ou três meses, e não exige uma mudança de hábitos dos operários em geral. O OPT deve ser implantado pela alta administração (para ter força e ser respeitado) e se consolidar pelo seu próprio desempenho. É consenso, hoje, que o grande mérito do software não está no seu algoritmo (segredo), mas nos conceitos sobre os quais ele foi concebido. A grande vantagem em desenvolver o OPT foi a de travar contato com as complicações reais do dia-a-dia da fábrica; com isso, pode-se perceber a influência dos gargalos no desempenho geral da produção e mostrou que uma atenção especial deveria ser dada a eles, inclusive com a contabilização dos custos de preparação etc.

Em resumo, não se conhecem muitas avaliações do desempenho do OPT, até porque existem poucos usuários. E pelo fato do sistema ser relativamente novo, não se tem nenhuma avaliação de longo prazo.

2.3.5 - A Integração dos Sistemas de Gestão da Produção

Os sistemas de PCP descritos nos tópicos anteriores não são absolutos e não precisam ser necessariamente utilizados de forma individual. Muito pelo contrário, na verdade esses sistemas se complementam, e o ideal é que se utilize uma combinação deles, aproveitando o que cada um tem de melhor - GELDERS & WASSENHOVE (1985).

Muitas das propostas de gerenciamento da produção que têm sido publicadas a partir de 1984 se referem a combinação desses sistemas, principalmente da ligação entre MRP e JIT.

Neste tópico, abordar-se-á, então, o sistema de Planejamento e Controle de Produção que contempla a integração das qualidades do MRP/MRP II com o JIT (Kanban) e a utilização do MRP num ambiente de Tecnologia de Grupo com Células de Manufatura.

2.3.5.1 - JIT com MRP

Esta combinação tem aparecido insistentemente nas publicações recentes sobre sistemas de Gerenciamento da Produção, a ponto de ser difícil encontrar uma publicação que trate de JIT ou MRP isoladamente. Isso pode ser explicado pela penetração maciça do Just-In-Time/Kanban no Ocidente, inclusive nos Estados Unidos, a pátria do MRP. Por outro lado, os estudiosos perceberam que a utilização de um programa MRP num ambiente de fábrica em JIT torna a empresa capaz de atender os desafios colocados pelo mercado moderno.

Para alguns autores como ANTUNES et al. (1989), essa combinação de MRP com JIT deve ser empregada em empresas que apresentam uma situação de produção intermediária entre aquelas de MRP "puro" (muitos produtos, muitas mudanças nas características de Engenharia) e JIT "puro" (poucos produtos, poucas mudanças). Acerca dessa opinião, dois comentários podem ser feitos:

- 1) a aplicação desse sistema combinado só se justifica para empresas que apresentem as condições de viabilidade do Just-In-Time, do contrário o sistema não vai sobreviver.
- 2) a tendência do mercado moderno apresenta um quadro em que, se por um lado há necessidade de muitos produtos e muitas variações para atender a demanda

("customização"), por outro lado há a necessidade de padronização de componentes e processos de fabricação para tornar a produção competitiva; então, pode-se ver que grande parte das empresas, se já não estão, caminham para uma situação onde se vejam obrigadas a lançar mão da utilização das características do MRP e do JIT simultaneamente.

O MRP é muito valioso como instrumento central de planejamento para assegurar a disponibilidade dos materiais explodidos, reunidos e compensados. O MRP oferece visões sobre a condição e as necessidades da fábrica, quando da execução do programa mestre de produção; especifica não só a quantidade necessária como também o prazo de entrega. Os componentes são fornecidos em grande número, em um único ponto no tempo, no início da linha. É necessário um procedimento secundário para ajustar o tempo e nivelar a entrada e saída, e para entregar os componentes nos tempos e locais realmente necessários e em tempo real. Isso pode ser parcialmente realizado pela utilização do planejamento das necessidades de capacidade, ou pelos sistemas de controle entrada-saída, ou por um sistema do tipo Kanban.

Tem-se que abordar também a questão da qualidade, elemento essencial do JIT. Quanto mais perto de "zero defeito" o processo levar a produção (uma das metas do JIT), melhor para o MRP planejar, uma vez que o MRP supõe 100% de qualidade em todos os componentes.

No caso do arranjo celular, as células devem ser incluídas na atividade de planejamento de capacidade. No ambiente JIT, o sistema MRP deve determinar quando são necessários os itens produzidos pelas células. Por exemplo: suponha-se que 3 itens devam ser produzidos por uma dada célula; o MRP calcularia quando e em quais quantidades esses itens seriam necessários. Se 100

unidades de cada item fossem necessárias na terceira semana, 3 ordens de trabalho de 100 unidades de cada item seriam emitidas com prazo de entrega na terceira semana. Os operadores da célula veriam estas ordens de trabalho como os índices de produção da terceira semana e as converteriam manualmente para índices de produção diários.

Uma das mudanças obrigatórias para todos os sistemas MRP no caso da integração com o JIT é a invalidação da função Liberação do pedido para os itens controlados pelo JIT. A execução dos programas dos itens de menor porte é controlada por sinais de "puxar" gerados manualmente no piso de fábrica e não pelas liberações de ordens de trabalho (sinais de "empurrar") do sistema MRP.

Com relação à atividade de Compras, o "Just-In-Time" cuida da programação das entregas do fornecedor contra os pedidos gerais de compra. A quantidade e o momento de cada entrega se baseiam nos resultados da explosão do MRP. Num ambiente de JIT avançado, que possui ligações estreitas com os fornecedores, estas remessas podem ser acionadas diretamente pelos sinais de "puxar" das operações consumidoras. Esta é uma área promissora para a aplicação do intercâmbio eletrônico de dados.

O exemplo mais conhecido do emprego de um sistema combinado MRP-JIT é o da Yamaha no Japão. Eles batizaram esse sistema de *Synchro-MRP*. Nesse sistema, segundo GELDERS & WASSENHOVE (1985) e MONDEM (1984) o MRP é usado para balancear a capacidade de carga a médio prazo e para gerar ordens de fabricação para produtos não-repetitivos (*job-shop*). E a filosofia JIT é empregada na produção de itens repetitivos e na programação da produção de curto-prazo.

O MRP pode fazer simulações para os próximos meses, para verificar a capacidade da planta. Os picos de produção podem ser nivelados ou apropriadamente avaliados em tempo de se ajustar a capacidade. Com isso, a empresa adquire capacidade de atender às flutuações de demanda (com o emprego do Kanban) e às variações sazonais e ainda aumentar a produtividade.

FLAPPER et al. (1991) apresentam algumas técnicas para combinar o MRP no JIT. Segundo eles, os aspectos do JIT devem ser introduzidos no MRP gradualmente. O artigo apresenta uma plataforma de três passos para combinar o MRP no JIT, que consistem basicamente em criar uma linha de fluxo lógica, do começo ao fim da produção, com as ordens de produção baixadas pelo MRP apenas para o produto final e os componentes intermediários seriam administrados por um sistema tipo Kanban. Naturalmente, essa plataforma conta com todos os requisitos do JIT, como operador multifuncional, qualidade de processo etc.

2.3.5.2 - O MRP e a TG

Em princípio, pode-se dizer que a convivência do MRP com a TG é viável, pois não há nada na operação do MRP que o impeça de ser empregado numa fábrica que tenha células, as quais são uma manifestação da Tecnologia de Grupo na fabricação.

O artigo HYER & WEMMELÖV (1982) apresenta uma plataforma de três níveis para a compatibilização de MRP com TG. Essa plataforma é definida de acordo com a esfera de tomada de decisões, do Programa Mestre de Produção até o controle do chão-de-fábrica. No entanto, o artigo coloca que procedimentos como planejamento de capacidade e programação de operações devem ser continuamente

investigados, e que o assunto ainda está muito longe de ser esgotado.

De acordo com HAM et al. (1985), alguns benefícios trazidos pelo emprego de Tecnologia de Grupo com célula de fabricação, como diminuição do lead-time, redução da movimentação de materiais, simplificação do fluxo de produção e facilidade de controle do "chão-de-fábrica" fazem com que o MRP trabalhe melhor na prática, pois acabam fornecendo dados mais elaborados para o sistema.

E essa mesma publicação apresenta um algoritmo para integrar MRP e TG, na programação da produção de grupos de peças:

Passo 1: Reúna os dados normalmente requeridos pelas duas tecnologias, TG e MRP, como descrição das peças, processos de fabricação, estrutura do produto etc.

Passo 2: Use Tecnologia de Grupo para determinar as famílias de peças.

Passo 3: Use o MRP para alocar cada peça para um período de tempo específico.

Passo 4: Arranje o par peça/período de tempo determinado no passo 3 de acordo com as famílias de peças determinadas no passo 2.

Passo 5: Use um algoritmo de programação de grupo adequado para determinar a programação ótima para todas as peças de um dado grupo, para cada período de tempo.

3 - O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO PARA CÉLULAS DE MANUFATURA

3.1 - INTRODUÇÃO

Os procedimentos de Controle de Produção em ambiente celular devem ser bastante diferenciados, comparados aos convencionais.

Existem hoje, basicamente, duas linhas de atuação para programação de operações em células de manufatura: a primeira, emprega as rotinas do Just-In-Time/Kanban, explicitadas no capítulo anterior deste trabalho, em que o controle visual é o recurso mais eficaz; a segunda, consiste no emprego de regras de prioridade e algoritmos de programação, procedimentos que apresentam grande desenvolvimento a nível acadêmico, mas que até o momento não são empregados maciçamente na indústria, salvo algumas exceções nas primeiras.

Essas duas práticas se detêm na programação e controle da produção ao nível de operações. Portanto, para completar todo o processo de PCP, é preciso um sistema para planejamento e controle de materiais, e um sistema indicado para isso é o MRP, embora a interface MRP/TG ainda não esteja completamente desenvolvida. Assim, esquematicamente, tem-se como na figura 22:

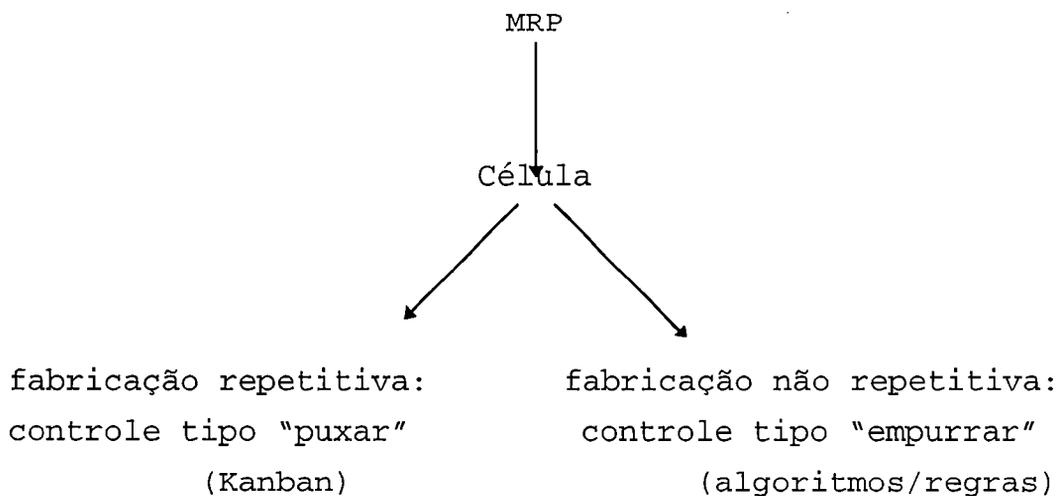


FIGURA 22 - Alternativas de Controle de Produção para Células de Manufatura.

Para fabricação com razoável grau de repetibilidade e padronização de peças, o controle de produção por Kanbans em ambiente JIT é o que se tem de melhor. Por outro lado, no caso de produção com baixa repetibilidade, a situação é diferente. O Kanban não é viável. Então recorre-se a sequenciação de tarefas por regras e algoritmos, principalmente os dito heurísticos, cujo emprego na fábrica é viável, com resultados satisfatórios. Assim, a abordagem do problema divide-se em duas: uma para produção repetitiva e outra para produção não repetitiva

3.2 - PROGRAMAÇÃO E CONTROLE VIA KANBAN

O sistema de controle de produção Kanban não funciona com êxito fora de um ambiente de Just-In-Time. O modelo de sistema Kanban empregado nas empresas é variável, conforme foi comprovado na pesquisa de campo,

relatada mais adiante. No entanto, todos seguem as regras básicas e a mecânica de operação descritas anteriormente, de forma que entende-se que esta abordagem já foi realizada e passa-se, então, à segunda.

3.3 - PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES POR ALGORITMOS

Este tópico, vai tratar especificadamente do que a literatura denomina de **processamento em grupo**, que consiste no tratamento de famílias de peças, e não de peças independentes. De acordo com HAM et al. (1985), esta consideração normalmente implica na redução do tempo total de processamento de um conjunto de peças. Este processamento assume que as famílias de peças sejam formadas de acordo com os preceitos de um Sistema de Classificação e Codificação ou de uma Análise de Fluxo de Produção. O processamento em grupo consiste das seguintes etapas: planejamento do processo, análise de lote, determinação de carga e programação da produção.

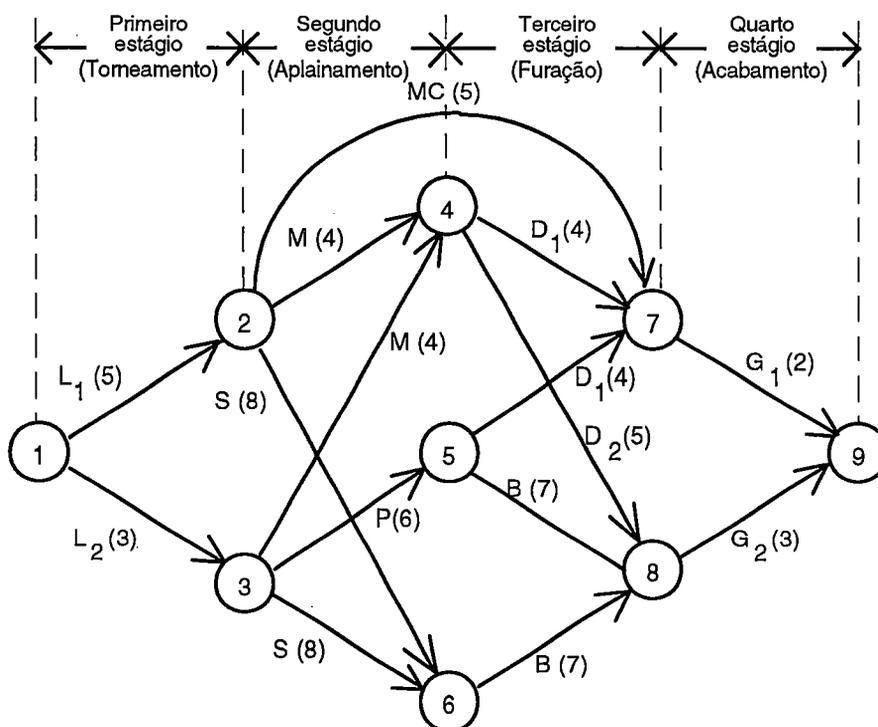
3.3.1 - Planejamento do Processo

Este consiste em determinar a rota de processamento que resulta na execução do produto sob um critério de otimização, como o mínimo tempo de produção, por exemplo.

A situação é esta: a fabricação de um dado produto consiste de muitas operações, cada uma normalmente com várias alternativas em termos de

máquina a empregar. O planejamento do processo procura a melhor dentre elas.

Para demonstrar os estágios e as precedências tecnológicas entre as operações é costume usar uma representação em rede de operações, como a mostrada abaixo (tomando processamento convencional), onde as letras representam as operações e os valores entre parênteses representam o tempo de duração da operação ou o seu custo.



Nota: L=torno; B=mandriladora; S=copiadora G=retificadora; D=furadeira; M=fresadora; MC=máquinacentradora; P=plana

FIGURA 23 - Rede de roteiros alternativos de processos
Baseada em HAM et al. (1985)

Para encontrar a sequência ótima, que no caso é a que apresenta o tempo de duração minimizado, emprega-se uma técnica chamada Programação Dinâmica (PD), cujo procedimento está descrito a seguir:

-seja $f(i)$ o menor tempo requerido para completar todas as operações entre o nó i e o último nó. Então, para otimizar o processo, precisamos aplicar a fórmula abaixo:

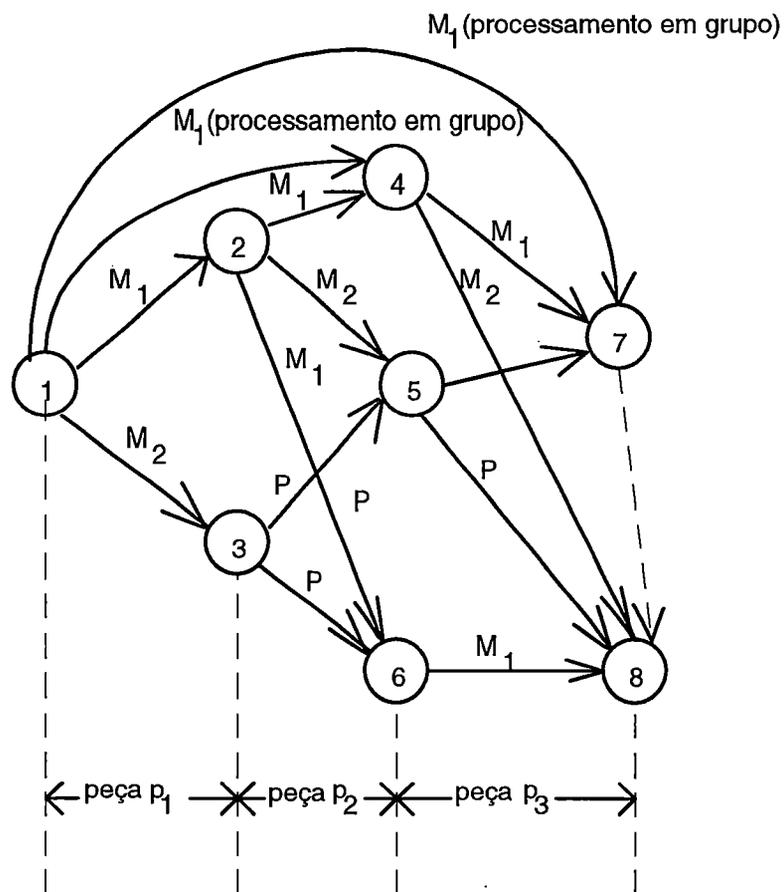
$$f(i) = \min_j (t_{ij} + f(j)) \quad (2)$$

onde t_{ij} = tempo de processamento para a operação entre o nó i e o próximo nó j

Sendo o tempo de processamento total ("Makespan") dado por $f(1)$, a solução ótima é obtida com uma relação de recursividade, partindo do último nó n , no qual $f(n) = 0$.

Com o emprego do processamento em grupo, aparecem rotas de programação alternativas, devido ao fato de que várias peças que pertencem a uma mesma família podem ser processadas numa mesma sequência de máquinas, com o mesmo ferramental. Assim, o planejamento do processo para aplicações em grupos tecnológicos consiste em investigar roteiros alternativos, além daqueles para processamento convencional. A figura a seguir exemplifica uma representação em rede de uma rota alternativa que inclui processamento em grupo para três peças. Neste caso é preciso considerar todas as possíveis combinações de processamento, ou seja, processamento de grupos de tamanho variáveis. No exemplo, a seta entre os nós 1 e 4 indica a possibilidade das peças p_1 e p_2 serem processadas em grupo, na máquina M_1 ; analogamente, a seta entre os nós 1 e 7 indica a possibilidade das três peças serem processadas em grupo, na mesma máquina. As outras setas indicam processamento convencional. Um roteiro ótimo de trabalho composto dos

processos de produção para as três peças pode ser determinado simultaneamente pela aplicação do procedimento de programação dinâmica, mencionado anteriormente.



(As letras representam o mesmo que na figura anterior)

FIGURA 24 - Rede com processamento em grupo
Baseada em HAM et al. (1985)

3.3.2 - Análise de Lote

Por considerar que todas as peças incluídas em cada família a ser produzida têm o mesmo ciclo de produção (intervalo de tempo entre a fabricação de cada lote), e que cada peça é fabricada uma vez em cada

ciclo, o problema de análise de lote para grupos pode ser tratado muito semelhantemente ao caso convencional.

Seja um problema de análise de lote constituído de N grupos, cada um composto de n_i peças ($i = 1, 2, \dots, N$). Representando-se a taxa de produção e a taxa de demanda (n° de peças na unidade de tempo) para a peça E do grupo i (G_i) por P_{iE} e r_{iE} , respectivamente, e o custo de manutenção de inventário para peça E do grupo G_i na unidade de tempo por I_{iE} , o custo de setup intergrupo (ou custo de setup por grupo) para G_i e o custo de setup intragrupo (ou custo de setup por peça) para a peça E de G_i são dados respectivamente por U_i e u_{iE} . Então, pode-se deduzir que o ciclo de produção ótimo T^* é determinado pela expressão:

$$T^* = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^N (U_i + \sum_{E=1}^{n_i} u_{iE})}{\sum_{i=1}^N \sum_{E=1}^{n_i} (1 - \frac{r_{iE}}{P_{iE}}) r_{iE} I_{iE}}} \quad (3)$$

e o lote econômico, Q^*_{iE} , ($Q^*_{iE} = r_{iE} T^*$), por

$$Q^*_{iE} = r_{iE} \sqrt{\frac{2 \sum_{j=1}^N (U_j + \sum_{n=1}^{n_j} u_{jn})}{\sum_{j=1}^N \sum_{n=1}^{n_j} (1 - \frac{r_{jn}}{P_{jn}}) r_{jn} T_{jn}}} \quad (i=1, 2, \dots, N, E=1, 2, \dots, n_i) \quad (4)$$

A solução obtida deve satisfazer a seguinte condição:

$$\sum_{i=1}^N (S_i + \sum_{E=1}^{n_i} S_{iE}) + \sum_{i=1}^N \sum_{E=1}^{n_i} \frac{Q^*_{iE}}{P_{iE}} \leq T^* \quad (5)$$

onde S_i e s_{iE} são, respectivamente, o tempo de setup para o grupo G_i e o tempo de setup para a peça E do grupo G_i .

Após a determinação dos itens a produzir e suas quantidades, o próximo passo é a alocação das cargas de trabalho nos recursos industriais existentes, para fabricar essas quantidades. Ou seja, é preciso ajustar a carga de trabalho para cada centro de produção (máquina e/ou operários) de forma a não exceder a sua capacidade, que é considerada finita.

3.3.3 - Determinação de Carga de Máquina.

Neste caso, as peças que pertencem aos grupos devem ser alocadas para as máquinas. É preciso considerar os dois tipos de tempos de setup: o tempo de setup para cada peça e o tempo de setup para cada grupo de peças. O tempo de setup de peça é necessário ser considerado quando cada peça é determinada para ser processada em uma máquina, enquanto o tempo de setup de grupo é considerado somente quando a primeira peça de um grupo novo é alocada para produção e não é considerado quando as outras peças do mesmo grupo são sucessivamente designadas para a mesma máquina.

As proposições fundamentais para um modelo de determinação de carga máxima para Tecnologia de Grupo são as seguintes: [HAM et alii (1985), FERNANDES (1991)].

- 1) as peças são identificadas com as tarefas (uma peça, uma tarefa);

- 2) as tarefas do mesmo grupo são processadas em sucessão;
- 3) as peças (ou tarefas) devem ser processadas em um sistema constituído de K máquinas;
- 4) o tempo de processamento requerido para completar um grupo de peças consiste na soma do tempo de setup de grupo com os tempos de processamento de todas as tarefas do grupo;
- 5) o tempo de processamento de uma peça consiste do tempo de setup da tarefa e do tempo de produção unitário multiplicado pelo número de unidades do lote;
- 6) o tempo de setup de grupo e o tempo de setup de tarefa são ambos independentes da sequência de produção.

Seja J_{it} ($i=1,2,\dots,N; t=1,2,\dots,n_i$) a t -ésima tarefa num grupo G_i ($i=1,2,\dots,N$). Quando J_{it} é processada em um lote de tamanho l_{it} na máquina M_k ($k=1,2,\dots,K$), o tempo de processamento da peça J_{it} , p_{it} , na máquina M_k é :

$$p_{it}^k = s_{it}^k + l_{it} u_{it}^k \quad (i=1,2,\dots,N; t=1,2,\dots,n_i; k=1,2,\dots,K) \quad (6)$$

onde

s_{it}^k e u_{it}^k são, respectivamente, o tempo de setup da peça e o tempo de fabricação unitária da tarefa J_{it} na máquina M_k

Desde que o tempo de processamento de J_{it} é dado pela equação acima e, representando o tempo de setup de grupo em M_k para G_i por S_i , o tempo de processamento do grupo G_i em M_k é dado por Q_i^k :

$$Q_i^k = S_i^k + P_i^k \quad (7)$$

onde

$$P_i^k = \sum_{t=1}^{n_i} p_{it}^k \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (8)$$

onde P_i^k é o tempo de fabricação total do Grupo G_k em M_k .

O tempo disponível para cada máquina dada é representado por d_k ($k=1, 2, \dots, K$). O problema é fazer a seleção ótima de grupos e tarefas dentro desse tempo limitado. É empregada como política de carregamento ótimo a maximização da taxa de produção.

Introduzindo variáveis do tipo 0-1, x_{it} ($i=1, 2, \dots, N$; $t=1, 2, \dots, n_i$), onde $x_{it}=1$ quando J_{it} é selecionada para ser produzida e $x_{it}=0$ quando J_{it} é rejeitada e não produzida, a seguinte restrição deve ser respeitada:

$$\sum_{i=1}^N \left(\sum_{t=1}^{n_i} p_{it}^k x_{it} + S_i^k X_i \right) \leq d_k \quad (k=1, 2, \dots, K) \quad (9)$$

onde

$$X_i = \left\{ 0, \text{ se } \sum_{t=1}^{n_i} x_{it} = 0 \quad \text{ou} \quad 1, \text{ se } \sum_{t=1}^{n_i} x_{it} \geq 1 \right\} \quad (10)$$

A função-objetivo, que é maximizar a taxa de produção, é calculada por:

$$Z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{n_i} w_{it} + X_{it} \quad (11)$$

onde w_{it} é o tamanho do lote de produção para J_{it} ser aceita; $1 \leq w_{it} \leq l_{it}$ ($i=1,2,\dots,N$; $t=1,2,\dots,n_i$).

O problema de carga de máquina para aplicação em tecnologia de grupo então é formulado como: maximizar a equação (11) sujeita a equação (9).

3.3.4 - Programação da Produção

A Programação da Produção envolve a determinação dos itens de produtos e respectivas quantidades a serem produzidas em períodos específicos de tempo. É difícil obter uma programação de produção ótima nos casos reais, principalmente devido às dificuldades de obtenção dos dados necessários com boa acuracidade e também devido ao elevado número de programações a serem consideradas e escasso tempo disponível.

Para se ter uma idéia da extensão do problema de sequenciamento de operações, que é basicamente um problema de Análise Combinatória, a fórmula que dá o número total de programações de n operações em m máquinas é $(n!)^m$. Como exemplo, pode ser tomado um problema relativamente pequeno, que é o de programar 8 tarefas em 3 máquinas; isso dá $(8!)^3 = 6,6 \times 10^{13}$ alternativas de programação! Isso requer um esforço de cálculo muito grande, mesmo para rápidos computadores e

por isso se faz necessário encontrar algoritmos que reduzam o esforço computacional. Existem algoritmos que permitem encontrar a solução ótima (a melhor) num tempo razoável. Esses são algoritmos ditos exatos. E existem os algoritmos que levam a uma solução chamada heurística, que é uma boa solução (não necessariamente a melhor), num tempo bem reduzido.

Os algoritmos que serão apresentados a seguir se baseiam nas seguintes premissas [CONWAY et alii, 1967; HAM et alii, 1985]:

- 1 - as tarefas a serem executadas estão simultaneamente disponíveis para processamento a partir da data zero;
- 2 - o tempo de processamento de uma tarefa consiste do tempo de setup e do tempo de processamento propriamente dito, que são determinísticos e conhecidos;
- 3 - cada operação pode ser executada por apenas uma máquina;
- 4 - não é permitida a interrupção ("preemption") de qualquer operação;
- 5 - cada máquina pode executar apenas uma tarefa de cada vez;
- 6 - tempos de transporte intermediários são ignorados ou inclusos nos tempos de processamento.

SEQUENCIAMENTO DE GRUPOS DE TAREFAS

A idéia é sequenciar as operações similares em sucessão, para obter vantagens do tipo estabelecimento de fluxo padrão, redução do tempo de setup e até melhoria da qualidade.

Para isso, é estabelecido um modelo de programação de grupo de tarefas, de acordo com HAM et al. (1985):

- i) as tarefas a serem processadas são classificadas em vários grupos e as tarefas de um mesmo grupo são processadas em sucessão;
- ii) o tempo de setup de um grupo é independente da sequência dos grupos;
- iii) o tempo de setup necessário para processar uma tarefa é independente da sequência dos grupos e tarefas e é incluída no tempo de processamento da tarefa.

No modelo definido acima, com N grupos, cada qual possuindo n_i tarefas ($i=1,2,\dots,N$), o número de sequenciamento possíveis numa máquina é igual a $N! \times \prod_{i=1}^N n_i!$

Observando que no caso do problema de sequenciamento convencional, o número de sequenciamentos possíveis para um universo de n tarefas é $n!$. Dessa forma, pode-se encarar o problema convencional como um caso particular do problema de

sequenciamento de grupos, onde há somente um grupo de n tarefas ou então N grupos constituídos de uma tarefa cada.

A seguir, apresenta-se a programação de grupo para máquina-única, sob o critério de minimizar o tempo de fluxo médio.

Seja $J_{ik} (i=1,2,\dots,N; k=1,2,\dots,n_i)$ a k -ésima tarefa do grupo $G_i (i=1,2,\dots,N)$; p_{ik} denota o tempo de processamento desta tarefa e $S_i (i=1,2,\dots,N)$ denota o tempo de setup do grupo G_i .

O tempo de fluxo da k -ésima tarefa do i -ésimo grupo J_{ik} , é F_{ik} , dado pela equação abaixo:

$$F_{ik} = \sum_{u=1}^{i-1} (S_u + P_u) + S_i + \sum_{v=1}^K p_{iv} \quad (12)$$

onde $P_i = \sum_{k=1}^{n_i} p_{ik} \quad (13)$

é o tempo de processamento do grupo G_i .

Então o tempo médio de fluxo é dado por:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{n_i} F_{ik}}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (14)$$

$$F = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N n_i \sum_{u=1}^{i-1} Q_u + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N n_i S_i + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{n_i} \sum_{v=1}^k p_{iv}$$

onde $Q_i = S_i + P_i$ é o tempo de processamento do grupo G_i

e $M (= \sum_{i=1}^N n_i) \quad (15),$ é o número total de tarefas.

Na equação (14), o segundo termo do segundo membro é uma constante. O primeiro termo é independente da sequência de tarefas porque Q_j é uma constante e é relativo ao sequenciamento de grupos. O terceiro termo é relativo ao sequenciamento das tarefas em cada grupo, e não é influenciado pela sequência de grupos. Assim, por estarem separados, o sequenciamento de grupo e o sequenciamento de tarefas podem ser realizados independente um do outro.

O primeiro termo é minimizado pela ordenação dos grupos na ordem não-decrescente dos tempos de processamento de tarefas para cada grupo. Esse resultado é estabelecido formalmente abaixo:

"Num problema de programação de grupo para máquina-única o tempo de fluxo médio é minimizado pela ordenação das tarefas em cada grupo e entre os grupos tal que

$$P_{i1} \leq P_{i2} \leq \dots \leq P_{in_i} \quad (i=1,2,\dots,N) \quad (16)$$

e

$$\frac{S_1 + P_1}{n_1} \leq \frac{S_2 + P_2}{n_2} \leq \dots \leq \frac{S_n + P_n}{n_n} \quad (17)$$

Na sequência, vem a programação de operações para duas máquinas. Baseado no Teorema de Johnson¹, foi desenvolvido o Algoritmo de Johnson, descrito a seguir.

Passo 1: Determine $\min\{p_{i1}, p_{i2}\}$, $i=1,2,\dots,n$ - no caso de empate, tome arbitrariamente.

¹JOHNSON, S. M. Optimal two and three stages... Nav. Res. Quat., 1(1):61-68, 1954.

onde p_{i1} é o tempo de processamento da tarefa i na máquina 1 e p_{i2} é o tempo na máquina 2.

Passo 2: A) Se o número deu p_{i1} , para algum $i=1,2,\dots,n$, coloque a tarefa J_i na primeira posição disponível na sequência de tarefas.

B) Se o número deu p_{i2} , então coloque a tarefa J_i na última posição disponível na sequência de tarefas.

Passo 3: Remova a tarefa designada do conjunto das tarefas e volte ao Passo 1, até que todas as posições na sequência de tarefas sejam ocupadas.

Observa-se que este algoritmo foi desenvolvido para sequenciamento de tarefas independente de grupos. No caso da programação para ambiente de família de peças, o algoritmo serve para definir a sequência das tarefas dentro dos grupos, que pelas colocações deste trabalho é a mesma para todas as máquinas. FERNANDES (1991) apresenta um algoritmo para sequenciamento dos grupos de tarefa - (é apresentado como continuação do algoritmo anterior):

Passo 4: Para cada grupo tendo como sequência a encontrada pelos passos anteriores, calcule:

$$X_i = S_i^{(1)} - S_i^{(2)} + \frac{\max_{1 \leq V \leq N_i}}{\left(\sum_{g=1}^V p_{ig}^{(1)} - \sum_{g=1}^{V-1} p_{ig}^{(2)} \right)} \quad (18)$$

$$Y_i = \frac{\max}{1 \leq V \leq N_i} \left(\sum_{g=V}^{N_i} p_{ig}^{(2)} - \sum_{g=V+1}^{N_i} p_{ig}^{(1)} \right) \quad (19)$$

$S_i^{(1)}$ é o tempo de setup do grupo na máquina 1;

$S_i^{(2)}$ é o tempo de setup do grupo na máquina 2;

$P_{ig}^{(1)}$ é o tempo de processamento da tarefa g do grupo i na máquina 1;

$P_{ig}^{(2)}$ é o tempo de processamento da tarefa g do grupo i na máquina 2.

Passo 5: Encontre o menor valor entre os X_i 's e o Y_i 's (em caso de empate a escolha é arbitrária).

Passo 6: Se o menor valor for X_i , coloque G_i no início e se for Y_i , coloque G_i na última posição da sequência.

Passo 7: Remova o grupo designado e vá para o Passo 5.

Para a programação em número de máquinas maior ou igual a 3, são empregados os procedimentos de Programação Linear, particularmente os de Programação Linear Inteira Mista e algoritmos do tipo "Branch-and-Bound" (ramificação e limitação), que formam aquela estrutura tipo árvore. Essas duas abordagens conduzem a soluções ótimas. Mas, se uma solução boa já for satisfatória, existem alguns procedimentos heurísticos. A seguir é apresentado um dos melhores algoritmos desse tipo, inclusive com grande eficácia computacional, de acordo com FERNANDES (1991).

Uma observação: a eficácia computacional, isto é, o tempo que o algoritmo leva para encontrar a solução final é muito importante e na maioria das vezes decisivo. Principalmente para métodos heurísticos, que são desenvolvidos justamente para se chegar a uma boa solução num tempo razoável. Assim, um algoritmo que leve a uma boa solução num tempo pequeno pode ser interessante para aplicação na produção.

Dessa forma, é apresentado o algoritmo abaixo, que foi desenvolvido para programação de grupos, aproveitando então as vantagens da fabricação em família de peças. O método é uma adaptação do método de Petrov², que por sua vez é uma adaptação para três ou mais estágios do método exato de Johnson³.

O Algoritmo:

Passo 1: Divida os tempos de setup dos grupos nas máquinas m ($S_i^{(m)}$) e os tempos de processamento das tarefas j dos grupos i nas máquinas m ($p_{ij}^{(m)}$) em 2 componentes, a saber:

$$S_i^{(A)} = \sum_{m=1}^n S_i^{(m)} \quad \text{para } i=1,2,\dots,N \quad (20)$$

$$S_i^{(B)} = \sum_{m=h}^K S_i^{(m)} \quad \text{para } i=1,2,\dots,N \quad (21)$$

$$P_{ij}^{(A)} = \sum_{m=1}^h p_{ij}^{(m)} \quad \text{para } i=1,2,\dots,N; j=1,2,\dots,N_i \quad (22)$$

²PETROV, V. A. Flowline group production... National Lending Co, Chapter 7, 1966.

³ver nota 1.

$$P_{ij}^{(B)} = \sum_{m=h'}^k p_{ij}^{(m)} \quad \text{para } i=1,2,\dots,N; j=1,2,\dots,N_i \quad (23)$$

onde $h=k/2$ e

$$\{h'=h=1 \text{ se } k \text{ for par ou} \quad (24)$$

$$\{h'=k+1/2 \text{ se } k \text{ for impar}$$

Passo 2: Aplique o algoritmo anterior, de FERNANDES (1991), a partir do "Passo4" (esse algoritmo foi desenvolvido para 2 máquinas); será aplicado aos grupos contendo dois setup's fictícios como se existissem apenas 2 máquinas, A e B - e as tarefas com dois tempos de processamento fictícios obtidos no passo 1 acima. O resultado final é muito próximo do ótimo.

Existe ainda um outro algoritmo heurístico, para programação de tarefas em larga escala, num ambiente de flow-shop e Tecnologia de Grupo. É uma aplicação também do método de Petrov, e foi apresentada por Hitomi⁴. Apresenta uma solução muito próxima da ótima e tem como saídas na tela do computador um Gráfico de Gantt, o "Makespan", o caminho crítico e as datas de início e término para todos os grupos e tarefas. É um procedimento interativo entre o computador e o homem e roda até nos microcomputadores mais simples (no artigo o autor empregou um microcomputador de 8 bits), sendo uma solução adequada para rodar no chão-de-fábrica, quando se precisa de uma programação urgente ou se quer ter uma estimativa do Makespan, para uma programação não extensa (número de

⁴HITOMI, K. Group scheduling with ... Mem. Fac. Eng. Kyoto Univ., 50(3):176-187, 1988.

máquinas ≤ 5 , número de grupos ≤ 5 e número de tarefas em cada grupo ≤ 5).

No sequenciamento de grupos por um método "branch-and-bound", de acordo com HAM et al. (1985), divisões de grupos e de tarefas são ambas requeridas e podem ocorrer dois conjuntos de nós: - nó de grupo e nó de tarefa. Basicamente, a divisão de grupos é feita primeiro por tomar cada um dos grupos ainda não sequenciados e colocá-los no próximo conjunto de grupos sequenciados. Então, da mesma forma, as tarefas são ramificadas a partir dos nós de grupos criados. Esse procedimento de "ramificação" de tarefas é repetido até que todas as tarefas do grupo sejam sequenciadas. Após esse procedimento, novos grupos de nós são criados pela ramificação dos grupos não sequenciados.

Veja a figura abaixo:

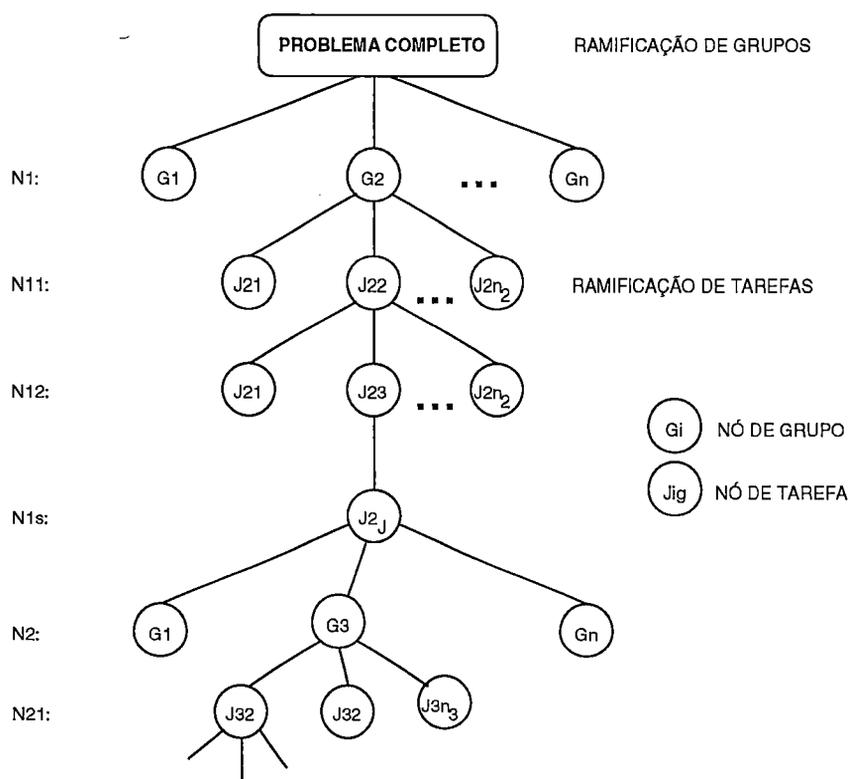


FIGURA 25 - O Processo de Ramificação aplicado a grupos

onde N_r é o nível dos nós de grupo, r representa o número de grupos já sequenciados e

N_{rs} é o nível dos nós de tarefa, onde s representa o número de tarefas já sequenciadas dentro de um grupo.

Quanto ao processo de limitação, que consiste em determinar um limitante para eliminar os nós que ultrapassem esse valor, um dos limitantes mais utilizados no caso de mínimo Makespan é o limitante inferior (LB) calculado pela seguinte expressão:

$$L(N_{rs}) = \frac{\max}{1 \leq m \leq M} \left\{ C_{rs}^m + \sum_{j \in J_r} p^m r_j + \sum_{i \in G_r} (S_i^m + P_i^m) + \frac{\min}{ij \in J_{rs}} \sum_{h=m+1}^M p^h ij \right\} \quad (25)$$

onde C_{rs}^m é o tempo de completção da tarefa J_{rs} na máquina M_m e G_r é o conjunto de grupos ainda não sequenciados e J_{rs} e J_r são, respectivamente, o conjunto de tarefas ainda não sequenciadas e o conjunto de tarefas ainda não sequenciadas no grupo G_r .

O segundo e terceiro termos do segundo membro da expressão acima são, respectivamente, a soma dos tempos de processamento das tarefas ainda não sequenciadas no corrente grupo G_r e a soma dos tempos de processamento dos grupos ainda não sequenciados naquele nível. O último termo representa o mínimo das somas dos tempos de processamento das tarefas nos estágios remanescentes, para as tarefas ainda não sequenciadas.

HAM et al. (1985) apresenta um algoritmo para esse método de divisão e limitação:

Passo 1: Inicie no grupo nível $r = 0$ e o último valor possível de $L^* = \infty$

Passo 2: Divida o grupo de nó N_r em $(N-r)$ grupos de nó N_{r+1} pela colocação de cada um dos grupos ainda não alocados na sequência já determinada. Faça $r=r+1$.

Passo 3: Para cada um dos grupos de nó N_r , crie nós de tarefa N_{rs} , do nível de tarefa $s=1$, pela colocação de cada uma das tarefas na sequência já determinada.

Passo 4: Calcule o limitante inferior (LB) pela expressão (25) para cada nó de tarefa nível N_{rs} .

Passo 5: Encontre o nó de tarefa tendo mínimo $LB(N_{rs})$ entre aqueles nós obtidos dos passos 3 ou 4 no caso de $L^* = \infty$, ou de todos os nós abertos no caso de $L^* \neq \infty$ - No caso de empate, selecione o nó com o maior valor de r e depois s , na persistência do empate. Faça $LB^*(N_{rs}) = LB(N_{rs})$.

Passo 6: Se $LB^*(N_{rs}) < L^*$, vá ao passo 7. Senão, pare: a sequência de grupos e tarefas que tem L^* é ótima.

Passo 7: se $s < nr$, vá ao passo 8. Senão, vá ao passo 9.

Passo 8: Divida o nó N_{rs} em (n_r-s) nós N_{rs+1} pela colocação de cada uma das tarefas ainda não alocados no grupo G_r na próxima sequência determinada. Faça $s=s+1$ e vá ao passo 4.

Passo 9: Se $r < N$, vá ao passo 2. Senão, faça $L^* = LN^*(N_{rs})$ e vá ao passo 5.

3.3.5 - Minimização do Tempo de Preparação de Máquinas

O tempo de preparação das máquinas, ou tempo de "set-up", é um parâmetro muito importante para uma manufatura celular, sendo o principal tópico a ser abordado quando se pensa em melhorar a eficácia de uma célula. Dessa forma, muitos autores abordam como critério de desempenho a minimização do tempo de preparação e procuram resolver esse problema através da programação dinâmica, dos métodos heurísticos e "branch-and-bounds".

Se a produção da família de peças completa vai ser repetida sequencialmente, o modelo do problema amolda-se no caso cíclico do problema do caixeiro viajante. Se a produção da família não se repete, o problema é acíclico.

O modelo em Programação Linear para o caso cíclico é o seguinte, de acordo com [FOO & WAGER (1983) apud FERNANDES (1991)].

$$\min Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N s_{ij} x_{ij} \quad (26)$$

sujeito a

$$\left\{ \begin{aligned} \sum_{i=1}^N x_{ij} = \sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \\ \{u_i = u_j + N_{x_{ij}} \leq N - 1 \text{ para } 1 < i \neq j \leq N \end{aligned} \right. \quad (27)$$

onde

s_{ij} = tempo de preparação quando a tarefa i é seguida da j

x_{ij} = 1 se a tarefa i for seguida da j ; 0, caso contrário.

Para solução desse modelo existem algoritmos naquelas três formas de abordagem citadas.

O caso acíclico foi tratado por WHITE & WILSON (1977) num procedimento "branch-and-bound" e numa heurística, e em termos de Programação Dinâmica pelos próprios FOO & WAGER (1983), assumindo algumas restrições, como:

- 1) A primeira tarefa é pré estabelecida;
- 2) o tempo de preparação é dependente do sequenciamento;
- 3) todas as tarefas são processadas em uma única máquina;
- 4) todas as tarefas estão disponíveis simultaneamente.

FURTH & ROUBOS (1983) apresentam um software chamado "Mischedule" para sequenciamento de tarefas em máquinas agrupadas em células que considera as similaridades entre as peças em termos de forma/dimensão/necessidade de usinagem/usinabilidade. O software faz a carga de trabalho das estações, realizando: a) cálculo do tempo total de processamento requerido por estação; b) soma do tempo de transporte entre as estações com o tempo de processamento,

obtendo-se o tempo de ordem; então, pelo uso do calendário e dos dados das estações de trabalho, são calculadas as disponibilidades das máquinas (em horas). Os atributos similares de uma peça da fila são detectados através de três testes de verificação de características a partir do conteúdo do código de 12 dígitos da peça (4 de forma, 4 de dimensão, 2 de tolerância e 2 de material). Desta forma a fila é organizada em 3 subfilas. Esses dados são armazenados numa matriz. As peças de cada subfila numa máquina ferramenta são sequenciadas de acordo com as suas similaridades e as características da produção, (por exemplo, cortar segundo a ordem decrescente dos diâmetros). Segundo os autores desse trabalho, organizando as filas dessa maneira é possível reduzir os tempos de preparação de 50 a 75%, o que pode levar a um ganho de 20% de disponibilidade da máquina, já que normalmente 40% do tempo útil de uma máquina é ocupado com sua preparação.

Foram desenvolvidas programações para parâmetros específicos da manufatura celular, como a de CHEM (1991), que apresenta um modelo de Programação Linear Inteira Mista para determinação do ciclo de operações ótimo dentro de uma célula. Essas operações se referem ao carregamento, descarregamento, transporte e espera. O objetivo da programação é minimizar o "makespan", para um dado número de peças, ilimitado. O artigo apresenta o desenvolvimento do modelo para um grupo de m máquinas para 1 operador (multifuncional) e estendido para 2 operadores (multifuncionais). O autor aplicou o modelo para várias situações reais, em ambiente de TG, e como ilustração pode-se citar que para determinação do ciclo ótimo para 3 máquinas e 1

operador, um computador IBM 3033 levou 5 minutos; para o caso de 7 máquinas e um operador, gastou 40 horas. E com a aplicação desse ciclo tem-se relatado aumentos de até 40% na produtividade de uma célula.

Outro estudo, de KEKRE (1989), analisa o impacto do aumento do número de produtos fabricados pela célula no seu desempenho. O estudo propõe modelos matemáticos para a avaliação desse impacto e mostra que, com o aumento do número de produtos, aumenta também a influência do tempo de set-up no desempenho da célula, mostrando que uma correta administração dos set-up's leva a um grande aumento na produtividade da célula. O estudo mostra, no entanto, que a taxa de deteriorização do desempenho da célula diminui com o aumento do tamanho do grupo, sendo que a simulação mostrou que a taxa se mantém constante a partir de 8 peças.

4 - A PESQUISA NAS INDÚSTRIAS: METODOLOGIA E RESULTADOS

4.1 - A ESCOLHA DAS INDÚSTRIAS E METODOLOGIA DE PESQUISA

Trata-se de um trabalho exploratório de características qualitativas, com o objetivo de analisar o comportamento das empresas na administração de seus objetivos de fabricação de curto prazo, tendo o chão de fábrica organizado segundo a concepção de células de manufatura. Optou-se por tomar como amostra uma indústria de cada uma das categorias de sistemas de produção: projeto, intermitente semi-repetitiva e intermitente repetitiva. Foram escolhidas indústrias de primeira linha.

A metodologia adotada foi a pesquisa de campo, através de entrevistas pessoais, coleta de documentos e visitas as áreas administrativas e fabris nas quais o controle de produção atuava.

As entrevistas para a presente pesquisa foram realizadas com os supervisores de PCP das empresas, os quais, afortunadamente, tinham participado do processo de implantação dos sistemas que as empresas estavam empregando na época da pesquisa.

4.2 - RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO

4.2.1 - Empresa A

Número de funcionários: 2300

Origem : nacional

Ramo de Negócios : auto-peças

Produtos : freios automotivos

Mercado : 30% do mercado nacional e exporta para EUA

Processo produtivo : Verticalizado, repetitivo em alta escala(1.500.000 unidades/ano).

Fabricação metal-mecânica convencional.

O arranjo da oficina era quase inteiramente celular, com montagem final em linha.

PCP : Auxiliado por MRP e Kanban. Através de previsão de vendas, faz o plano mestre de produção para 6 meses, sendo firme o horizonte de planejamento de 3 meses.

A empresa elegeu como sistema de gestão da produção a filosofia "Just-In-Time", implantando o sistema Kanban e o arranjo físico celular em 1983. A empresa optou pela mudança total do arranjo funcional para celular, de uma única vez.



AS CÉLULAS DA EMPRESA

As famílias de peças foram constituídas a partir de uma análise das folhas de processo de fabricação, a qual era empregada também para as peças novas. Como as famílias de peças eram bem comportadas, as células trabalhavam num sistema tipo flow-shop, onde praticamente todas as peças processadas tinham o mesmo roteamento. Isso facilitava bastante o controle de produção da célula, que devido ao volume de produção e a baixa diversidade de produtos, se inseria bem nas características do JIT, onde o Kanban se mostrava altamente eficiente.

A empresa possuía um grande número de células, distribuídas de acordo com o produto. A nível de fabricação, a empresa possuía células de estamparia (prensas) e de usinagem. Dentre as fábricas pesquisadas, esta era onde a produção por células estava mais consolidada, devido ao tempo de uso e às características da produção. As células operavam segundo a mentalidade de cliente-fornecedor e donas de negócio (uma célula era cliente da célula anterior e fornecedora da célula posterior).

As células da empresa apresentavam os requisitos básicos do JIT, como operador multifuncional, lay out em "U", troca rápida de ferramentas, Manutenção Preventiva Total (MPT). A empresa estava dando grande ênfase a questão da Qualidade, com a utilização do Controle Estatístico de Processo (CEP) em todas as cotas onde havia exigência de intercambialidade e ao desenvolvimento dos Círculos de Controle de Qualidade

(CCQ), tendo por objetivo operar segundo os conceitos de Qualidade Total.

4.2.1.1 - O Planejamento e Controle de Produção da Empresa

A empresa possuía um sistema MRPII que gerava as necessidades líquidas para os itens comprados e fabricados, controlando apenas o início e o fim do processo. O início era a reposição do nível de estoque dos itens comprados e o final era a montagem do produto, que seguia um plano de vendas controlado pelo MRP. O estoque de suprimentos, de produtos acabados, e o estoque em processo eram analisados por um módulo de transação on-line, sincronizado com os cartões de Kanban. Os cartões passavam a requisitar materiais nos almoxarifados e a dar baixa nos itens em processo, quando acabados. A fábrica para o MRP era uma "caixa preta", sendo internamente controlada por um sistema Kanban.

O Kanban da empresa utilizava apenas um cartão, o de ordem de produção. Este cartão era distribuído por uma carreta, puxada por um pequeno trator, que levava os recipientes de produtos (vazios ou com a matéria-prima) com os respectivos cartões de célula para célula, de acordo com a relação cliente-fornecedor. Atrás de cada célula existia uma área para recebimento de materiais, com um quadro onde eram colocados os cartões. Estes quadros tinham três faixas horizontais, onde a faixa superior era pintada na cor vermelha, a intermediária na cor amarela e a de baixo na cor verde. Na vertical, em colunas, eram colocados os códigos das peças trabalhadas pela célula.

Estes quadros de cartões eram os "termômetros" da produção. Por eles, as equipes das células podiam ver como estavam perante o programa de produção. A faixa vermelha era a faixa crítica: se ela tivesse dois ou mais cartões, significava que estava faltando produto na célula cliente; se tivesse um cartão na faixa vermelha, significava que a célula cliente estava processando o conteúdo do último recipiente da peça. Nestes casos, era preciso acelerar o ritmo da produção e, se preciso, até aumentar o número de funcionários da célula, ou trabalhar em horário extraordinário. A situação ideal de se trabalhar era com os cartões na faixa verde, o que significava que a produção estava em dia.

O procedimento operacional era o seguinte: um operador da célula retirava o cartão do recipiente e o colocava prioritariamente na faixa verde. Depois de atingir dois cartões na faixa verde ele passava a colocar os cartões que recebe na faixa amarela, até atingir novamente dois cartões; aí passava a colocar na faixa vermelha. O preenchimento do quadro de cartões era de baixo para cima e a execução das ordens de produção de cima para baixo. Assim, os operários começavam a executar primeiro as peças cujos cartões estavam na faixa vermelha; depois de esgotados os dessa faixa, passavam a executar os da faixa amarela e por fim os da verde. A prioridade dos cartões que estavam na mesma faixa era determinada pela sequência de preparação de máquinas ou pela intervenção do setor de Vendas, que podia inclusive colocar um cartão direto na faixa amarela ou vermelha, indicando que a produção daquela peça era urgente.

Depois de executado o pedido, o operário colocava o cartão no recipiente com as peças produzidas e os colocava na área de expedição da célula. Então, a carreta passava, recolhia os recipientes e os levava a célula cliente. A carreta passava no tempo exato, de acordo com o ritmo de produção determinado. Ela funcionava, então, como um instrumento de controle do ritmo da produção.

O início do processo - a liberação do cartão - ocorria no setor de Vendas, onde também era o final do processo - o ponto de chegada do cartão. O cartão saía do setor de Vendas, percorria todas as células envolvidas no processo de produção do produto e retornava no mesmo setor, junto com o recipiente contendo o produto acabado.

A empresa trabalhava com JIT na montadora dos veículos, sendo que para alguns itens a empresa entregava diariamente, outros uma vez por semana e outros ainda três vezes por semana.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Devido às características da produção - **seriada e com pouca diferenciação** - o sistema Just-In-Time com Kanban é a melhor solução para o caso, devido a sua simplicidade e sua eficácia.

A indústria utilizava um sistema Kanban peculiar, com um único cartão e auxílio do trator-carreta, que mostrava-se eficaz para as suas características de produção. O sistema era muito fácil de administrar e controlar, sendo praticamente auto-regulado (característica do Kanban). O sistema em uso na

empresa obteve as vantagens tipicamente relacionadas ao JIT, como ausência de papéis e baixo estoque em processo.

A empresa procurava atender os requisitos que concorrem para o sucesso do JIT, como treinamento, redução do lead time, redução do tempo de set up e buscava incessantemente a melhoria contínua, seja na busca da diminuição do lote de transferência ou na melhoria das operações. Cabe destacar aqui o grande investimento da empresa em educação e treinamento de pessoal.

4.2.2 - Empresa B

Número de funcionários: 1500

Origem : nacional

Ramo de negócios : bens de equipamento

Produtos : elevadores e escadas rolantes

Mercado : 25% do mercado nacional

Processo produtivo : verticalizado, repetitivo em escala média, com produto final diferenciado (25 elevadores e 15 escadas por mês).

O lay-out da oficina era todo celular.

PCP : auxiliado por MRP desenvolvido internamente e Kanban. Elaborava um plano de produção para um ano, baseando-se em encomendas e previsões, tendo um programa firme de montagem mês a mês.

Em 1986, a empresa resolveu implantar a filosofia de produção "Just-In-Time" (JIT) em todos os seus aspectos, a procura de aumentar a produtividade, reduzir custos e melhorar a sua competitividade no mercado, que estava ameaçada.

A fábrica era dividida em sete mini-fábricas independentes, cada uma especializada na produção de determinadas peças. No conjunto de peças de cada mini-fábrica foi aplicado o conceito de Tecnologia de Grupo (TG) e através de um processo de Análise de Fluxo de Produção (AFP) foram montadas as famílias de peças. De acordo com esse conjunto de famílias foram montadas as células de manufatura, pelo rearranjo dos equipamentos de que a empresa dispunha.

AS CÉLULAS

Cada mini-fábrica possuía em torno de 15 células, o que perfazia um total de 105 células de fabricação na empresa. As células eram muito distintas entre si, apresentando grande diferença em número e tipo de equipamentos e na disposição destes. Existiam células com uma máquina só, outras com duas, três, até dez máquinas, sendo que a grande maioria tinha no máximo quatro máquinas. Existia desde o arranjo em linha até o em "U", sem a predominância de algum deles. Algumas células, inclusive, foram montadas de forma a compartilhar um equipamento, que ficava colocado entre elas.

Existiam peças que tinham operações em mais de uma célula e existiam algumas operações de determinadas

peças que eram executadas fora da célula, como tratamentos térmicos e usinagem de dentes.

4.2.2.1 - O Planejamento e Controle da Produção da Empresa

Normalmente, o tempo de entrega de um elevador, contado a partir da assinatura do contrato, era de catorze meses. Com isso, a empresa trabalhava com um Plano de Produção de um ano, com uma programação de entrega do produto para um dado mês, determinado a partir da verificação do andamento das obras (construção civil) que encomendaram os equipamentos. A partir disso, era elaborada uma Programação Mensal, com no mínimo um mês de antecedência à produção.

Cerca de 80% das peças dos produtos eram padronizadas, incluindo peças fabricadas internamente e compradas. Os restantes 20% eram definidos pelos pedidos dos clientes. Essas peças diferenciadas eram tratadas de maneira especial pela empresa, que, para controlar a sua produção, usava um sistema de PCP do tipo convencional, de lógica "empurrar". A peculiaridade era que o controle da produção desses itens era realizada através de um cartão tipo Kanban, ao qual a empresa dava o nome de "Kanban Variável", pois as quantidades do item a produzir eram variáveis, dependendo dos pedidos. Esse cartão nada mais era que uma ordem de fabricação convencional, simplificada, que, depois de percorrido o processo, era jogada fora.

Para as peças padronizadas, a empresa utilizava um sistema Kanban propriamente dito, cujos cartões ela

chamava de "fixos". Nesse sistema existiam cartões de dois tipos: o Kanban de Processo e o Kanban de Estoque. O primeiro, impresso na cor vermelha, era empregado para peças fabricadas; o segundo, na cor preta, era utilizado no caso de itens comprados. Cada um deles trabalhava como cartão único nos seus escopos de produção. Assim, a empresa trabalhava com um Sistema Kanban de Cartão Único. Todos os cartões da fábrica eram impressos via computador.

O Kanban de Processo exercia concomitantemente a função de Kanban de Requisição e Kanban de Produção e funcionava da seguinte forma: o abastecedor da célula subsequente ia ao estoque da célula precedente com o(s) Kanban(s) e a(s) respectiva(s) caixas vazias. Lá ele tomava o número correspondente de caixas cheias, de acordo com os Kanbans que trazia, e levava-os para a célula subsequente, deixando as caixas vazias no depósito da célula (precedente). A seguir, o operador dessa célula fixava um pino (que representava um cartão) no quadro de Kanbans da célula e colocava os cartões numa prateleira embaixo do quadro.

O Quadro de Kanbans era constituído de tiras verticais de madeira, de mesmo comprimento e larguras diferentes. Em cima de cada tira era colado o código da peça ao qual ela correspondia. Essas tiras eram furadas para a colocação dos pinos e pintadas em faixas horizontais, de baixo para cima, de verde, amarelo e vermelho. O número de furos em cada tira era variável, em função do número de cartões, os quais cobriam o lote da peça. As peças que tinham processamento inicial em outra célula possuíam na célula subsequente as tiras de madeira

correspondentes pintadas somente nas cores amarela e vermelha.

O preenchimento dos furos das tiras era de baixo para cima (da cor verde para a vermelha). Os operadores começavam a processar as peças quando um pino atingia o primeiro furo da cor amarela. Nesse caso, ele produzia a quantidade referente a todos os pinos da tira (que representava o lote de consumo da peça). Se um pino atingisse a cor vermelha a linha ia sofrer falta da peça.

Os pinos tinham uma de suas extremidades pintadas na cor branca e outra na cor preta. Quando o pino estava com a cor branca à mostra no quadro, indicava que aquela peça não estava sendo produzida; a cor preta indicava que a peça estava em processamento na célula.

Como critério de dimensionamento de lote, a empresa utilizava, por razões de ordem econômica, um lote cujo tempo de fabricação era um múltiplo do tempo de preparação de máquinas para processá-lo. A empresa trabalhava com um lote de no mínimo três e no máximo dez vezes (número que ela considerava ideal) o tempo de set-up.

O Kanban de Estoque funcionava da seguinte forma: O abastecedor da célula se dirigia com o(s) Kanban(s) de Estoque e o número correspondente de caixas vazias para o endereço do produto marcado no cartão, que era um espaço numa prateleira onde ficavam as caixas cheias. Ali ele fazia a troca das caixas vazias pelas cheias, fixava os pinos correspondentes e retornava a célula. O Quadro de Kanbans de Estoque ficava logo acima das prateleiras e era semelhante ao Quadro de Kanban de

Processo, sendo que as tiras das peças tinham apenas as cores amarela e vermelha. Periodicamente, um repositor passava para observar a situação dos quadros e tratar da reposição das caixas cheias. A empresa trabalhava com duas caixas por produto, com duração média de quinze dias.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Seguindo à risca a filosofia de produção "Just-In-Time", a empresa desenvolveu um sistema Kanban adequado às suas características, usando bastante criatividade. Teve bom senso para separar o controle das peças padronizadas das peças com diferenciação.

No que se refere à programação da produção, as técnicas utilizadas eram aquelas comumente empregadas em ambiente JIT, que privilegiam o controle visual e regras de programação simples. As técnicas análíticas eram praticamente desconhecidas.

O processo de implantação do JIT esteve a cargo de uma equipe especialmente criada para tal, que contou com apoio e comprometimento dos funcionários da fábrica, da diretoria ao operador de máquinas. Para tanto, foi aplicado um processo de conscientização, educação e treinamento de pessoal. Depois da implantação do JIT, a equipe se dedicava à melhoria (contínua) do sistema e à incorporação das peças novas (projetadas pela Engenharia do Produto) ao sistema produtivo.

A empresa obteve resultados animadores com a aplicação desses procedimentos, notadamente na redução do

estoque em processo, na redução da área de fabricação, na simplificação do trabalho de PCP (o qual ficou praticamente nas mãos dos operários), na redução do tempo de produção e na eliminação de desperdícios.

4.2.3 - Empresa C

Número de funcionários: 800

Origem : nacional

Ramo de negócios : bens de equipamentos pesados

Produtos : hidrogeradores, turbinas, sondas etc.

Mercado : nacional e exterior

Processo produtivo : verticalizado, intermitente sem repetibilidade. No setor de fabricação combinava-se arranjo funcional(maior parte) com celular.

PCP : sistema apoiado em software do tipo MRP (desenvolvimento próprio).

A fábrica estava administrativamente dividida em unidades de processamento autônomas, de acordo com o processo de fabricação, chamadas grupos, como por exemplo Grupo da Usinagem Leve etc. Estes, por sua vez, estavam divididos em oficinas de serviço, de acordo com os itens que processavam, como por exemplo a Unidade de Rotacionais Leves. Algumas dessas unidades tinham seu arranjo físico na forma de células.

AS CÉLULAS DE PRODUÇÃO ANALISADAS

A empresa possuía quatro agrupamentos de máquinas que podiam ser chamados de células de fabricação, de acordo com o conceito. Desses, dois não estavam funcionando como tal, em virtude de problemas de carga de trabalho. Assim, restavam duas células na fábrica: as chamadas Célula de Eixos e Célula de Placas.

A Célula de Eixos era encarregada de executar as peças rotoidais e a Célula de Placas as peças chatas. Mesmo estas não eram células muito típicas, pois podiam executar peças outras, de acordo com a necessidade da empresa. Elas trabalhavam num sistema tipo job shop aberto. Existiam peças que requeriam a realização de uma operação fora da célula, como um tratamento térmico. Nesses casos a peça saía da célula, realizava a operação e depois retornava para ser acabada.

Essas células foram montadas para executar peças selecionadas de acordo com um processo de Análise de Fluxo de Produção. Quanto ao tamanho do lote, 90% não tinha mais do que 4 unidades e 40% eram unitários.

Cada uma dessas células funcionava como duas linhas produtivas, uma externa e outra interna. A interna, constituída das máquinas localizadas dentro do contorno delimitado por esteiras de roletes, composta das máquinas menores, processava as peças menores. A configuração externa, constituída de máquinas de maior porte, processava as peças maiores. Tanto o arranjo externo quanto interno eram em "U", o que tornava o arranjo da célula do tipo "2U".

O transporte dos materiais dentro da célula era realizado sobre esteira de roletes, auxiliado por talhas. Cada célula continha 10 máquinas, sendo 9 convencionais e uma de comando numérico, que, geralmente, apresentava problema de gargalo.

4.2.3.1 - O Planejamento e Controle da Produção da Empresa

A empresa dispunha de um sistema de gestão da produção informatizado, desenvolvido internamente, específico para as suas necessidades. Esse sistema era distribuído por terminais, espalhados pela empresa inteira, inclusive na fabricação. Esse sistema foi desenvolvido tomando por base o MRP, mas diferia deste na questão da emissão de ordens e do lead time.

Por possuir uma produção do tipo intermitente sob encomenda, as ordens de fabricação eram emitidas através do modelo "pedido controlado", uma vez que as ordens eram vinculadas a um pedido ou encomenda específica; assim não existia a formação de lotes, a menos que o planejador quisesse definir. Na empresa não existiam lead times padrões. Cada encomenda (produto) tinha seus conjuntos e subconjuntos aprazados conforme um macro-cronograma pré-estabelecido.

Quanto à programação e sequenciamento das peças a serem processadas nas células, eram utilizados dois procedimentos heurísticos, preparados internamente: O "SPT no Gargalo" e o "Conceito de Movimentação", cujos algoritmos se encontram no Anexo 1.

A regra SPT no Gargalo é fundamentada nos conceitos do OPT. Nessa regra, procura-se priorizar o sequenciamento das peças do gargalo da célula, visando aumentar a velocidade de fluxo da produção. O Conceito de Movimentação é baseado na relação do comprimento de "prazo-folga" existente, ou seja, é priorizada a peça que apresenta a menor folga em relação ao prazo de término da ordem de fabricação. A folga é calculada diminuindo-se o tempo a ser gasto na quantidade de movimentos a serem feitos pela ordem da diferença entre a data de entrega e a data atual.

As peças urgentes ou críticas que podiam surgir eram tratadas como excessão, e eram programadas manualmente pelo administrador da célula, independente da fila constituída pelos algoritmos.

Para fins de programação e controle de carga, os equipamentos das células eram tratados como grupos de máquina, os quais eram constituídos dos equipamentos que realizavam as mesmas operações. Assim, cada uma das células em questão, (a de eixos e a de placas, com dez máquinas cada uma) está dividida em quatro grupos de máquinas: o dos tornos paralelos, o do torno CNC, o das fresadoras e o das retificadoras.

A PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES NAS CÉLULAS

O programador de produção colocava os cartões de apontamento referentes a primeira operação de produção das peças num suporte atrás da célula. Os cartões eram colocados numa fila lateral, da esquerda para a direita, obedecendo a ordenação estabelecida no relatório do algoritmo de programação empregado. Um dos operários da célula apanhava o cartão mais à esquerda e procurava o

roteiro de fabricação referente àquela peça. Esses roteiros ficavam num balcão embaixo do suporte de cartões e eram mantidos num saquinho, que continha também os cartões de apontamento referentes às operações subsequentes. A partir daí, o operador passava a executar as operações na ordem descrita pelo roteiro.

A medida que ia executando as operações, o operador preenchia os respectivos apontamentos, colocando nos cartões o tempo que gastou para a execução da operação. Colocava esses cartões num suporte ao lado do primeiro. O controlador de produção passava, então, recolhendo esses cartões e a seguir procedia a baixa deles, no seu terminal de computador. Esses dados alimentavam o sistema de controle da manufatura, o qual podia fornecer relatórios do andamento da obra, através dos quais eram realizados o acompanhamento e controle da produção.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com o administrador da célula, qualquer um dos dois algoritmos apresentava resultados melhores do que a programação empírica que era feita antes, o que servia de justificativa para a continuação do emprego deles por parte da empresa.

A regra SPT no Gargalo apresentava bom desempenho em termos de velocidade de fluxo e inventário em processo. A regra Conceito de Movimentação se destacava quanto à utilização dos recursos produtivos.

O emprego de uma ou outra dependia da situação. No momento da pesquisa, como a empresa passava por alta ociosidade, tinha-se optado pelo emprego da regra Conceito de Movimentação.

Observa-se que a empresa sempre procurou adequar os conceitos modernos de manufatura às suas características e necessidades, o que pode ser atestado seja pelo desenvolvimento de um sistema de manufatura informatizado próprio, adaptando o MRP, seja pela constituição de células de manufatura (não muito ortodoxas, adaptadas às suas necessidades), ou seja ainda pela utilização de algoritmos de programação de operações específicos. Essa postura pode ser um indicativo de caminho para as indústrias desse tipo.

5 - CONCLUSÕES

Os dados levantados na pesquisa permitem algumas conclusões, com a ressalva de que as indústrias pesquisadas são empresas de grande porte, que, reconhecidamente, têm procurado se organizar para enfretarem a concorrência a nível internacional e, portanto, não podem servir como base para conclusões que possam ser extendidas às indústrias brasileiras em geral, mas como referência.

A pesquisa revelou que o processo adotado pelas três empresas para formação de famílias de peças e células de fabricação foi a Análise de Fluxo de Produção, devido à sua praticidade.

Na empresa B, determinadas células às vezes apresentavam problemas de desbalanceamento, devido à existencia de máquinas que eram compartilhadas por duas células, as quais, ocasionalmente, transformavam-se em gargalos. Problema de desbalanceamento de célula também ocorria na empresa C, devido a grande variedade de itens que as duas células tinham que processar, decorrente do sistema de produção da empresa ser o de projetos, o qual apresenta como característica fundamental a ausência de repetibilidade.

As empresas A e B, que adotaram o arranjo celular em grande extensão, romperam com a estrutura de PCP tradicional, usual em job-shop, de lógica de "empurrar" e adotaram um sistema de controle de produção de "puxar". Mantiveram, entretanto, um sistema MRP tradicional, o que, por consequência, gerou uma falta de

integração entre o planejamento (executado via MRP) e o controle de produção (via Kanban). A empresa C, com apenas duas células, manteve a estrutura de PCP tradicional, com um sistema tipo MRP. Nos três casos, o MRP não considerava a composição de famílias entre os itens em produção e, no caso das empresas A e B, as ordens planejadas serviam apenas como uma previsão para os Kanbans.

O planejamento de capacidade sofreu modificações para se adaptar ao conceito de células de fabricação: 1) não se fazia carga individual de máquinas - a célula inteira era tratada como se fosse uma estação de trabalho; 2) o acompanhamento da produção no interior da célula também não era praticado.

Na área de programação e sequenciamento de operações, nenhuma das empresas pesquisadas tinha desenvolvido algum procedimento formal para sequenciamento de família de peças. Os supervisores de produção ou programadores sequenciavam as tarefas com o objetivo de evitar set-ups. As empresas A e B consideravam o quadro de Kanbans suficiente para programar as ordens, utilizando regras de sequenciamento simples, do tipo "a primeira (ordem) que chega é a primeira a ser processada", pois no caso delas o tempo de set-up geralmente era curto ou até nulo, conforme o item.

A empresa C tinha maiores preocupações nessa área que as demais, devido à frequência e a duração dos set-ups. Essa empresa chegava a aplicar dois algoritmos para sequenciamento de operações, sendo que um ela própria adaptou, baseado na utilização racional do tempo de folga das ordens.

Como critério de dimensionamento de lotes, a empresa B adotava uma quantidade cujo tempo de produção

era um múltiplo do tempo de set-up, variando de três a dez (número que a fábrica considerava ótimo), dependendo do item. A empresa A adotava como ponto de partida a fórmula apresentada por MONDEM (1984) (equação número (1) desta dissertação) para o cálculo do número de Kanbans e, considerando a quantidade diária necessária, calculava o tamanho do lote.

As empresas A e B, que adotaram a filosofia de produção "Just-In-Time", empregaram para controle de produção sistemas Kanban adaptados à suas necessidades, o mais simples possíveis, sendo ambos sistemas de cartão único.

As indústrias A e B estabeleceram um grande programa de educação e treinamento dos seus funcionários nos princípios da manufatura celular, na filosofia de produção JIT e nas técnicas do Kanban, para prover o engajamento de todos no processo de implantação desses sistemas e suas técnicas auxiliares.

Tudo indica que "aprender fazendo" foi o caminho trilhado pelas fábricas que obtiveram sucesso, as quais não ficaram esperando pela "tecnologia perfeita" ou pelo "melhor método". As empresas pesquisadas, que tinham por objetivo operação em manufatura celular e JIT, evoluíram aos poucos até o estágio em que se encontravam, através dos conhecimentos que estavam ao seu alcance e de aperfeiçoamentos contínuos, resultantes das experiências obtidas do dia a dia da produção.

As pesquisas bibliográficas e de campo, realizadas para a execução deste trabalho, evidenciaram diversos problemas, como os interfaceamentos MRP/TG, JIT/MRP e TG/JIT, que precisam ser investigados com objetivo de melhor integração, sendo, portanto, campo fértil para trabalhos futuros.

ANEXOS

Anexo A

Algoritmo da Regra SPT no Gargalo:

- 1) Verificar a carga programada total da célula em questão até a última semana do mês vigente.
- 2) Comparar a carga programada com as capacidades de cada grupo de máquinas da célula.
- 3) Identificar o recurso produtivo com maior porcentagem de utilização e assumí-lo como gargalo.
- 4) Priorizar as ordens de fabricação disponíveis na célula, no período de programação em análise, segundo o menor tempo de processamento no gargalo.
- 5) As ordens que evidentemente não tiverem operações que passem pelo gargalo, serão alocadas depois das ordens que tem operações que passam pelo gargalo.
- 6) A sequenciação obtida é fixada pelo período de programação (2 a 3 dias) e sofre reprogramação, com a entrada de novas ordens todas as quartas e sextas-feiras.

Anexo B**Algoritmo da Regra Conceito de Movimentação:**

- 1) Calcular a folga aparente da ordem, subtraindo do prazo de término da ordem de fabricação (ano/semana), a data da semana corrente;
- 2) Calcular o número de movimentos que a ordem de fabricação terá, incluindo as operações da célula em questão, expressando-se em unidades de programação (semanas), considerando o tempo de espera entre cada movimento;
- 3) Subtrair o número de movimentos (em semanas) da folga aparente, calculando dessa forma a folga real;
- 4) Em caso de empate, utilizar a regra SPT para desempatar;
- 5) Ordenar a fila em ordem crescente de folga real (menor folga na cabeça da fila).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGGARWAL, S. C. MRP, JIT, OPT, FMS ? Making sense of production operations systems. Havard Business Review, p.8-16, Sep/Oct 1985.
- AGOSTINHO, O. L. Sistemas de manufatura. São Carlos, EESC-USP, 1991. (notas de aula)
- _____. Integração da manufatura. São Carlos, EESC-USP, 1992. (notas de aula)
- ANDERSON et al. Material requirement planning systems- the state of the art. Production and Inventory Management, **23**(4):51-66, 4th quarter, 1982.
- ANTUNES Jr., J. A. Y. et alii. Considerações críticas sobre a evolução das filosofias de administração da produção. Revista de Administração de Empresas, **29**(3): 49-64, 1989.
- BAKER, K. R. Introducing to sequency and scheduling. New York, John Wiley and Sons, 1974.

BURBIDGE, J. L. The introduction of Group Technology.
London, William Heinemann Ltda., 1975. 267 p.

_____. Change to Group Technology: Process organization
is obsolete. Int. J. Prod. Res., **30**(5):1209-1219, 1992.

CAPUTO, F. Some problems in design of flexible
manufacturing systems. Annals of the CIRP, Vol 32/1/93.

CHEN, H. G. A mixed integer programming for cyclic
manufacturing. Computers Ind. Engineering, **20**(1):77-78, 1991.

CHOI, MOO-JIN. Manufacturing Cell design. Production and
Inventory Management Journal, p.33-37, fourth quarter,
1990.

CHRISTIANO, A. C. Projeto e implantação de células de
manufatura em uma empresa produtora de bens de capital
sob encomenda. São Carlos, EESC-USP, 1989. 134p.
(dissertação)

CHU, CHAO-HSIEN & SHIH, WEI-LING. Simulations studies in
JIT production. Int. J. Prod. Res., **30**(11):2573-2586,
1992.

CONWAY, R. W. et alii. Theory of scheduling. Reading,
Mass., Addison-Wesley, 1967.

- CORIAT, B. Automação programável: In: Automação, Competitividade e Trabalho: São Paulo, Hucitec, Cap. I, p.13-61, 1988.
- CORRÊA, H. L. & GIANESI, I. G. N. Just-In-Time, MRPII e OPT: um enfoque estratégico. São Paulo, Atlas, 1993.
- FERNANDES, F. C. Concepção de um sistema de controle da produção para a manufatura celular. São Carlos, EESC-USP, 1991. 235 p. (tese).
- FLAPPER, S. D. P. et alii. Embedding JIT into MRP. Int. J. Prod. Res., **29**(2):332-338, 1991.
- FOGARTY, D. W.; BLACKSTONE, J. H.; HOFFMANN, T. R. Production & Inventory Management, 2 ed., Cincinnati, South Western Publishing Co., APICS, 1991. 870 p.
- FOO, F. C. & WAGER, J. G. Setup times in cyclic and acyclic group technology scheduling systems. Int. J. Prod. Res., **21**(1):63-73, 1983.
- FULLMANN et alii. MRP/MRPII,MRPIII,OPT e GDR. São Paulo, IMAM, 1989. 284p.

FURTH, B. & ROUBOS, P. Misedule - a group technology approach to sequency of jobs. Annals of the CIRP, **32**(1): 389-392, 1983.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. V.; WEI, J. C. From job-shops to manufacturing cells. Production and Inventory Management Journal, p.33-37, fourth quarter, 1990.

GELDERS, L. F. & WASSENHOVE, L. N. Capacity planning in MRP, JIT and OPT: a critique. Engineering Costs and Production Economics, n. 9, p.201-209, 1985.

GONÇALVES FILHO, E. V. Introdução a Tecnologia de Grupo: Um novo enfoque em sistemas de produção. São Carlos, EESC-USP, 1982, 143p. (dissertação)

HAM, I. Advanced applications for Group Tecnolgy concept for effetive CIM implementation. SME Paper, n. MS82-245, 1982.

_____. Group Technology: aplications to production management. Boston, Kluwer-Nyhoff Publishing, 1985, 189p.

HYER, N. L. & WEMMERLÖV, U. MRP/GT: A framework for production planning and control of cellular manufacturing. Decision Scienses, **13**(4):681-701, 1982.

JACKSON, D. Cell system of production. London, Business Book Limited, 1978. 169p.

KEKRE, S. Performance of a manufacturing cell with increased product mix. IIE Transactions, **19**(3), September, 1987.

KIMEMIA, J. & GERSHWIN, S. B. Flow optimization in flexible manufacturing systems. Int. J. Prod. Res., **23**(1), p.81-96.

LEVULIS, R. J. GT State of the art in US. SME Paper n. MS78-972, 1978.

MELETON, M. P. OPT - Fantasy or Breakthrough? Production and Inventory Management, **27**(2):12-21, 2nd quarter, 1986.

MERCHANT, M. E. Trends in Manufacturing systems concepts. 10 MTDR, p. 567-581, 1969.

MONDEM, Y. Sistema Toyota de produção. Tradução Antônia V. P. Costa et alii. São Paulo, IMAM, 1984. 141p.

OCCENÃ, L. G. & YOKOTA, T. An AGVs in a JIT enviroment. Int. J. Prod. Res., **29**(3):495-511, 1991.

- ORLICKY, J. Material Requirement Planning: The new way of life in Production and Inventory management. New York, MacGraw-Hill, 1975.
- PEREIRA, V. L. D. V. & PEREIRA, M. L. Tecnologia de Grupo: Uma solução no processo de produção. Anais do VIII ENEGEP, Vol. 1, p. 31-35, set. 1988.
- RESENDE, M. O. O planejamento e controle da produção: teoria e prática da indústria mecânica no Brasil. São Carlos, EESC-USP, 1989. (Tese de doutorado).
- RESENDE, M. O. & SACOMANO, J. B. Princípios dos sistemas de Planejamento e Controle da Produção. São Carlos, EESC-USP, 1991. 224p. (publ. 059/91)
- RITZMANN et al. Manufacturing performances pulling the righth levers. Havard Business Review, **62**(2):143-52, 1984.
- SACOMANO, J. B. Uma análise da estrutura funcional do planejamento e controle da produção e suas técnicas auxiliares. São Carlos, EESC-USP, 1990. (tese).
- SCOTT et al. Hierarchical control model for automated manufacturing systems. Computer & Industrial Engineering, **7**(3):241-255, 1983.

SEIDMANN, A. & SCHEITZER, P. J. Part selection policy for a manufacturing cell feeding several production lines. IIE Translations, **16**(4):355-362, 1984.

SÉRIO, L. C. Tecnologia de Grupo no planejamento de um sistema produtivo. São Paulo, Ícone, 1990. 274p.

SILVER, E. A. & PETERSON, R. Decisions systems for inventory management and production planning. New York, John Wiley & Sons, 1984.

SIMHON, M. Princípios dos sistemas flexíveis. Máquinas e Metais, p.42-44, jan/fev, 1986.

SWANN D. Using MRP for optimized schedules (emulating OPT) Production and Inventory Management, **27**(2):30-37, 2nd quarter, 1986.

WEMMERLÖV, U. & HYER, N. L. Cellular manufacturing in the US industry: a survey of users. Int. J. Prod. Res., **27**(9):1511-1530, 1989.

WHITE, C. H. & WILSON, R. C. Sequence dependent setup times and jobs sequence. Int. J. Prod. Res., **17**(6):631-641, 1979.

WILHELM, W. E. & SHIN, H. Y. Effectiveness of alternate operations in a flexible manufacturing system. Int. J. Prod. Res., **23**(1):65-79, 1985.

YIM, D. S. & LINN, R. J. Push and pull rules for dispatching automated guided vehicles in a FMS. Int. J. Prod. Res., **31**(1):43-57, 1993.