

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**UMA METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DA
MANUFATURA CELULAR**

Giovani José Caetano da Silveira

Dissertação apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Francisco José Kliemann Neto

Co-Orientador: José Antônio Valle Antunes Jr.

Porto Alegre, Abril de 1994.

ESCOLA DE ENGENHARIA
BIBLIOTECA

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 1

1.1 Contexto, Justificativa e Objetivo deste Trabalho1

1.2 Organização deste Trabalho3

2 TECNOLOGIA DE GRUPO E INDÚSTRIA5

2.1 Tecnologia de Grupo5

2.1.1 Conceito5

2.1.2 Surgimento e Evolução7

2.1.3 A Importância da Tecnologia de Grupo no Ambiente Fabril8

2.2 Tecnologia de Grupo e Indústria10

2.2.1 Tecnologia de Grupo e as Técnicas Modernas de Manufatura10

2.2.2 Os Benefícios da Tecnologia de Grupo por toda a Empresa11

2.3 Manufatura Celular14

2.3.1 Conceito de Célula de Manufatura, Manufatura Celular e FMS14

2.3.2 A Natureza da Manufatura Celular16

2.3.3 Vantagens e Desvantagens da Manufatura Celular17

2.3.4 A Formação de Células de Manufatura através da TG19

3 A FORMAÇÃO DE FAMÍLIAS E O DESENHO DO LAYOUT CELULAR22

3.1 Os Métodos de Formação de Famílias22

3.1.1 Análise Visual23

3.1.2 Sistemas de Classificação e Codificação24

3.1.3 Análise do Fluxo de Produção26

3.1.4 Coeficientes de Similaridade27

3.1.5 Métodos de Arranjo de Matrizes28

3.1.6 Técnicas Baseadas em Grafos30

3.1.7 Análise de Agrupamentos31

3.1.8 Programação Matemática31

3.1.9 Reconhecimento de Padrões33

3.1.10 Outras Técnicas33

3.1.11 A Escolha do Método mais Adequado34

3.1.12 A Eficiência do Agrupamento36

3.2 Princípios do Layout Celular38

3.2.1 Objetivos do Layout38

3.2.2 Tipos de Células de Manufatura40

3.2.3 O Conceito de Componente Composto42

3.2.4 O Conceito de Máquina Chave43

3.3 Conclusão43

4 UMA METODOLOGIA PARA A IMPLANTAÇÃO DE CÉLULAS DE MANUFATURA45

4.1 Introdução45

4.2 O Modelo Básico46

4.3 A Fase de Preparação47

4.3.1 A Análise da Empresa48

4.3.2 A Formação da Equipe50

4.3.3 A Focalização da Fábrica53

4.3.4 A Definição da Área Piloto54

4.3.5 A Aplicação de Técnicas de Apoio56

4.4 A Fase de Definição57 -

4.4.1 Análise da Área Piloto58

4.4.2 A Escolha das Técnicas de Tecnologia de Grupo60

4.4.3 A Coleta de Dados64

4.4.4 A Formação das Famílias65

4.4.5 O Balanceamento das Células66

4.4.6 O Desenho das Células68

4.5 A Fase de Implantação71

4.5.1 A Preparação para a Mudança71

4.5.2 A Implantação74

4.5.3 Gerenciamento e Controle75

4.6 Conclusão77

5 COMENTÁRIOS SOBRE A IMPLANTAÇÃO DA MANUFATURA CELULAR EM UMA INDÚSTRIA DO RAMO DE MADEIRAS E PLÁSTICOS78

5.1 Introdução78

5.2 A Cronologia das Ações79

5.3 A Análise da Empresa80

5.4 A Formação da Equipe82

5.5 A Escolha da Área Piloto83

5.6 A Análise da Área Piloto e a Aplicação de Técnicas de Apoio84

5.7 A Escolha do Método e a Formação das Famílias86

5.8 O Desenho das Células88

5.9 A Implantação da Célula Piloto90

5.10 Resultados Obtidos92

5.11 Conclusões93

6 CONCLUSÕES95

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS100

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com a colaboração dos professores Francisco José Kliemann Neto, José Antônio Valle Antunes Jr. e Flávio Sanson Fogliatto. A eles, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Um dos conceitos de engenharia industrial mais difundido nos últimos anos é a Manufatura Celular. Apoiada na lógica da Tecnologia de Grupo, que advoga a simplificação de processos sem a necessária redução em sua diversidade, a Manufatura Celular adquiriu um papel fundamental em grande parte dos programas de melhoria de qualidade e produtividade industrial.

Na tentativa de facilitar a tarefa de planejamento e implementação da Manufatura Celular em um ambiente industrial, este trabalho apresenta e discute uma metodologia prescritiva de implantação deste modelo.

Além da Introdução (Capítulo 1) e Conclusões (Capítulo 6), este trabalho está organizado em quatro partes.

Os capítulos 2 e 3 são destinados a uma revisão bibliográfica que serve, simultaneamente, de localização da Tecnologia de Grupo e Manufatura Celular no contexto da Engenharia de Produção e de embasamento teórico ao processo de efetiva implantação da Manufatura Celular.

O Capítulo 4 é a parte central do trabalho. Nele se apresenta e discute a metodologia de implantação. Esta metodologia foi desenvolvida a partir da revisão teórica sintetizada nos capítulos anteriores e de uma aplicação prática em indústria, a qual é discutida no Capítulo 5.

ABSTRACT

Cellular Manufacturing became one of the most popular concept of Industrial Engineering in the last few years. It has been being an important tool to many industries when it is necessary to reorganize production processes in order to achieve best results in productivity and quality. Cellular Manufacturing is based on Group Technology concepts, wich advocate process simplification without fewer diversity on products.

This dissertation presents a methodology for cellular manufacturing implementation. The main objective of this methodology is to help companies on the process of planning and organization of manufacturing cells.

Apart of the Introduction and Conclusions sections, this dissertation is divided into four sections.

Chapter 2 and 3 consist of a literature review that discusses the main concepts and aspects related to Cellular Manufacturing and Group Technology. This review can be used as a theoretical background in implementing of Cellular Manufacturing.

Chapter 4 is the main part of this work. In this chapter, the methodology of implementation is presented. This methodology was originally developed from theoretical studies and a real implementation in industry, presented in Chapter 5.

1. Introdução

1.1. Contexto, Justificativa e Objetivo deste Trabalho

Nos anos recentes, a estrutura competitiva industrial tem sido afetada por profundas transformações, tanto a nível estratégico, em termos de demanda e concorrência, como a nível técnico, principalmente devido aos avanços recentes da microeletrônica aplicada à tecnologia de produção.

No rastro destas mudanças, e na tentativa de adaptarem-se e sobreviverem a elas, muitas empresas industriais têm buscado alterar seus padrões operacionais, tecnológicos e culturais de processo. O antigo paradigma da produtividade fabril cedeu lugar às chamadas dimensões estratégicas da manufatura: custo, qualidade, serviço, *inovatividade* e flexibilidade. A tarefa de gerenciamento da produção de bens e serviços tornou-se, sem dúvida, mais complexa.

Em busca da satisfação a estas novas exigências, têm sido desenvolvidas e aplicadas tecnologias, métodos e modelos especificamente relacionados a cada uma destas dimensões. Entre estas ferramentas, uma das mais fundamentais e difundidas é, sem dúvida, a Tecnologia de Grupo. Segundo Meredith (1987), a Tecnologia de Grupo é a base das principais tecnologias de produção flexível hoje disponíveis, tanto a nível de processo produtivo como de projeto de produto e gerenciamento da produção, simplesmente porque todas estas tecnologias (*Computer Aided Design, Computer Aided Manufacturing, Flexible Manufacturing Systems, Computer*

Integrated Manufacturing, Computer Aided Production Planning, MRP, etc.) baseiam-se no conceito de grupos.

A principal aplicação dos conceitos de Tecnologia de Grupo a nível industrial consiste, sem dúvida, na formação de células de manufatura, onde antes havia o tradicional *layout* funcional ou taylorista. O atingimento dos objetivos deste sistema, maior flexibilidade, funcionalidade e racionalidade no processo, possibilita às empresas inseridas no contexto de produção de médios lotes e médias variedades a obtenção de ganhos operacionais, como redução de estoques intermediários, redução de custos de movimentações, sincronização da produção e envolvimento da mão-de-obra e estratégicos, como redução nos tempos de processamento, flexibilidade de entrega e flexibilidade de *mix*.

Tecnicamente, o principal auxílio que a Tecnologia de Grupo presta a esta tarefa consiste em, a partir de determinados atributos de comparação e agrupamento, identificar famílias de componentes e máquinas existentes no sistema funcional, com alto grau de similaridade interna, a ponto de justificar o agrupamento de diversos elementos em células de manufatura. As técnicas existentes para a realização deste objetivo são várias: a Tecnologia de Grupo encontra-se hoje bem desenvolvida no que se refere a técnicas de agrupamento, nas mais diversas abordagens.

No entanto, enquanto a linha técnica encontra-se bem avançada, as considerações quanto às diversas questões relativas à aplicação de Tecnologia de Grupo e à implantação da Manufatura Celular em empresas manufatureiras tradicionais encontram-se um tanto quanto esparsas. Aspectos como a definição da área piloto, os parâmetros para a escolha das técnicas de agrupamento, o desenho da célula, o envolvimento dos trabalhadores neste contexto e o gerenciamento das células de manufatura após sua implantação têm sido abordados por um contingente menor de autores, normalmente a partir de trabalhos restritos a um ou outro tema. Além do estudo aprofundado de cada aspecto singular, um dos desafios que hoje se apresentam consiste na necessidade de sistematização, de organização destes diferentes aspectos, a princípio singulares, em um contexto amplo, em um corpo só. Este contexto refere-se ao processo de implantação da Manufatura Celular em um estabelecimento industrial específico com base nos princípios e técnicas da Tecnologia de Grupo.

Reunindo-se estes três ingredientes: as imposições estratégicas e tecnológicas em direção à reformulação dos sistemas produtivos, o

desenvolvimento da Tecnologia de Grupo enquanto técnica largamente conhecida e aplicada mundialmente em diversos setores e, ainda, o baixo grau existente de sistematização dos diversos aspectos envolvidos na aplicação da Tecnologia de Grupo e Manufatura Celular num *contexto de aplicação*, conclui-se sobre a necessidade premente do estudo e discussão mais aprofundada sobre este último, enfatizando o aspecto *aplicativo*, já mencionado. De forma objetiva, deve-se buscar, a partir dos conhecimentos existentes na literatura e, se possível, a partir de casos práticos, delinear-se uma metodologia prescritiva de implantação da Manufatura Celular com o auxílio da Tecnologia de Grupo em um ambiente de manufatura originalmente taylorista, capaz de orientar minimamente sobre os principais passos a serem realizados durante este processo. É este o objetivo deste trabalho.

1.2. Organização deste Trabalho

Além desta introdução e das conclusões, este trabalho está organizado em 4 outros capítulos.

O Capítulo 2 trata fundamentalmente da descrição da origem, conceitos e princípios da Tecnologia de Grupo e da Manufatura Celular. É dividido em três seções:

1. Tecnologia de Grupo, na qual são tratados os conceitos, surgimento e evolução, e aplicação genérica da Tecnologia de Grupo no ambiente fabril;
2. Tecnologia de Grupo e Indústria, traçando uma relação entre Tecnologia de Grupo e técnicas modernas de manufatura e discutindo mais detalhadamente a aplicação de seus conceitos em diversos setores de uma empresa típica;
3. Manufatura Celular, onde são apresentados o conceito e a natureza da Manufatura Celular, discutidas suas vantagens e desvantagens e detalhada a relação existente entre Manufatura Celular e Tecnologia de Grupo.

O Capítulo 3 consiste numa revisão de diversos métodos destinados ao agrupamento dos elementos do sistema produtivo (componentes e máquinas) em famílias, e de técnicas e modelos para a definição, a partir deste agrupamento, do *layout* celular. No que se refere às técnicas de formação de famílias, são apresentados e discutidos diversos métodos, a partir de uma

tipologia proposta; definem-se parâmetros que orientem na escolha dos tipos de métodos mais adequados a cada caso; por último, apresenta-se um dos indicadores voltados à mensuração da qualidade do agrupamento realizado por alguma destas técnicas. Em termos de *layout* celular, são apresentados seus principais objetivos em termos operacionais, os principais modelos-padrão de células de manufatura existentes na literatura e algumas técnicas que orientam o desenho das células de manufatura, após a realização do agrupamento.

O quarto capítulo é o principal deste trabalho. Nele é apresentada, desenvolvida e discutida uma metodologia para a implantação de células de manufatura. A metodologia é organizada em três fases: preparação, definição e implantação. Cada uma destas fases é composta por diversas etapas, amplamente discutidas e localizadas no contexto geral. A metodologia foi desenvolvida a partir de revisão bibliográfica e dos resultados obtidos num caso prático, ocorrido paralelamente ao seu desenvolvimento. São discutidos aspectos fundamentais ao processo de implantação da manufatura celular, como a análise da empresa, formação da equipe, escolha da área piloto, escolha e execução das técnicas de agrupamento, desenho e gerenciamento das células, entre outros.

O Capítulo 5 é explicativo e ilustrativo. Refere-se à apresentação do caso de implantação da manufatura celular em uma empresa industrial do ramo de madeira e plásticos, uma das fontes de desenvolvimento da metodologia proposta no Capítulo 4. O objetivo deste é o de discutir alguns dos principais aspectos e fatos ocorridos neste caso, buscando ilustrar a viabilidade e utilidade da metodologia proposta.

Capítulo 2

Tecnologia de Grupo e Indústria

2.1. Tecnologia de Grupo

2.1.1. Conceito

O conceito que se atribui às palavras "Tecnologia de Grupo" pode variar na literatura, de acordo com o enfoque que se dê a este tema. Pode-se dividir os conceitos encontrados na literatura em três níveis:

- a) Tecnologia de Grupo (TG) como um enfoque genérico, uma forma de pensamento (Harvey, 1983; Groover, 1980);
- b) TG como uma filosofia de produção ou tipo de organização de uma unidade de manufatura (Tatikonda e Wemmerlov, 1992; Burbidge, 1992; Martin, 1990; Hyer, 1984) ou
- c) TG como uma técnica de codificação ou agrupamento (Gaither, Frazier e Wei, 1990).

Neste trabalho, será considerado como básico o primeiro conceito, que concebe TG como um enfoque genérico, utilizável em qualquer área do pensamento humano. Este pode ser apreciado na conceituação de Groover (1980): "Tecnologia de Grupo é um enfoque que procura identificar os

atributos de uma população com o objetivo de coletá-los em grupos, às vezes chamados famílias".

No entanto, como este trabalho está voltado para a área de manufatura, bem como a grande parte das aplicações e do estudo envolvendo TG, a segunda definição também torna-se útil. Nesta linha, dois conceitos podem ser destacados:

"Tecnologia de Grupo é (...) um tipo de organização fabril na qual os materiais processados são totalmente divididos entre unidades organizacionais (grupos), onde cada item completa todos os estágios de fabricação e montagem exigidos, sendo estes grupos aparelhados com todos os equipamentos e acessórios necessários à esta tarefa." (Burbidge, 1992)

"Tecnologia de Grupo é uma filosofia de manufatura que advoga a simplificação e padronização de entidades similares (partes, montagens, planejamento de processo, ferramentas, instruções, etc.) com o objetivo de redução da complexidade e obtenção de efeitos de economias de escala na produção em lotes." (Tatikonda e Wemmerlov, 1992)

O terceiro enfoque não parece ser adequado, dado que confunde os objetivos de TG com as técnicas utilizadas na consecução destes objetivos.

A partir dos conceitos 'fabris' de TG, podem ser identificados quatro aspectos que servirão de base ao desenvolvimento deste trabalho:

- TG é uma filosofia de manufatura ou um tipo de organização fabril, compatível com outras filosofias de manufatura;
- Tem como objetivo principal a simplificação e a redução da complexidade como meio de obter-se ganhos de produtividade e flexibilidade;
- Tem aplicação prioritária em estabelecimentos industriais de forma, predominantemente intermitente-repetitivos; e
- Pode servir como ferramenta de auxílio à implantação de técnicas de manufatura como células ou ilhas de produção, sistemas flexíveis de manufatura (FMS), manufatura integrada por computador (CIM), *just-in-time*, etc.

Este trabalho vai se concentrar na utilização de TG na implementação de células de manufatura. Indiretamente, as outras técnicas estarão sendo abordadas, pois a manufatura celular, além de uma técnica *per se*, é a base das outras citadas. É importante frisar, também, que TG não é sinônimo de manufatura celular. Manufatura celular é, conforme apresentado, um modelo de organização fabril operacionalizado através da TG. O conceito de manufatura celular será apresentado em uma etapa posterior do trabalho.

2.1.2. Surgimento e Evolução

As técnicas de agrupamento de peças e máquinas em famílias e estas, em células de manufatura, tiveram sua origem na Europa. O pioneirismo neste campo é atribuído a Mitrofanov (Freitas, 1992), na Rússia, na década de 60. Burbidge (1971), na Inglaterra, foi um dos primeiros disseminadores e estudiosos destas técnicas. Em 1963, ele desenvolveu a metodologia da Análise do Fluxo de Produção (*Production Flow Analysis - PFA*), o mais tradicional método de agrupamento baseado nos roteiros de produção.

Na Alemanha, Opitz (1971) desenvolveu outro método largamente utilizado, o sistema de classificação e codificação, que adota um enfoque diferente daquele utilizado por Burbidge, considerando não o roteiro de produção como variável inicial, mas as características físicas dos componentes. McAuley (1972) apresentou um método baseado em coeficientes de semelhança máquina a máquina para a formação das células.

Nos últimos anos, vários outros autores, como Chandrasekaran e Rajagopalan (1987), Chan e Miller (1982) e King (1980), para citar alguns, têm desenvolvido novos algoritmos e métodos de formação de famílias, os quais serão abordados a seguir. Além do desenvolvimento de novas técnicas, muitos autores têm se concentrado em aprimorar técnicas já existentes, no sentido de utilizá-las na resolução de problemas mais complexos ou que envolvam variáveis adicionais, como tempos de operação e preparação, seqüência das operações, máquinas-gargalo, etc.

Alguns estudos têm sido realizados também no sentido de aplicar ferramentas básicas auxiliares para o desenvolvimento de novos métodos. Como exemplo, foram desenvolvidos métodos baseados em sistemas especialistas, simulação (Morris e Tersine, 1990) e programação matemática (Shafer, Kern e Wei, 1992; Boctor, 1991).

A TG enquanto ciência é, no entanto, um campo vasto a explorar. A disseminação de sistemas FMS, JIT e CIM tem criado a cada dia novas oportunidades e desafios em termos de adaptação de técnicas de formação e implantação de famílias em ambientes diversos. Em termos atuais, existem bons grupos de estudo de TG na Europa, especialmente Inglaterra e Alemanha, e nos Estados Unidos. Além destes países, o Japão e a Escandinávia apresentam uma série de bons exemplos de aplicação dos conceitos de TG em ambientes industriais. Neste último, o caso da Volvo em Kalmar (Gyllenhammar, 1977) tornou-se um exemplo clássico, especialmente no que se refere aos aspectos humanos envolvidos na aplicação destas técnicas. Nos Estados Unidos, foi documentado o trabalho realizado na Cummins (Venkatesan, 1990), que introduziu algumas novidades como o agrupamento de partes baseado em volumes de produção, entre outros.

No Brasil, em algumas universidades, encontram-se pesquisadores dedicados a este assunto, especialmente nas federais do Rio de Janeiro e Santa Catarina e na Universidade de São Paulo. As aplicações práticas têm se concentrado principalmente em indústrias do setor metal-mecânico, especialmente no setor de autopeças, no Rio Grande do Sul, São Paulo e Minas Gerais. Existe registro de aplicações de células de manufatura em fábricas de rolamentos, amortecedores, freios, motores, caixas de câmbio e compressores (Miyake et alii, 1990).

2.1.3. A Importância da Tecnologia de Grupo no Ambiente Fabril

Na fábrica, os conceitos de Tecnologia de Grupo têm sido aplicados como meio de obtenção de dois importantes atributos de um sistema produtivo: flexibilidade e integração.

A busca de níveis adequados de flexibilidade, como se sabe hoje, é derivada da crescente mudança dos mercados tradicionais de massa no sentido de maiores exigências em termos de especialização (ou customização de alguns produtos) e no referente à velocidade de inovação. O sistema de produção em grandes lotes, adequado à primeira metade do século XX, tem se restringido a um número cada vez menor de setores competitivos. Além da mudança nos padrões de exigências dos consumidores, fatores como o aumento no grau de competitividade dos mercados industriais e entre as próprias nações (gerados principalmente por um aumento na capacidade de oferta de bens e serviços) e a emergência de novas tecnologias de produção

passaram a exigir das empresas atributos como tempos de fabricação curtos, baixos estoques, produtos com breves ciclos de vida e capacidade de gerenciamento de maiores variedades de componentes, produtos e máquinas (Martin, Ulich e Warnecke, 1990).

Ao analisar-se o impacto destas exigências em uma unidade industrial genérica, pode-se constatar duas mudanças básicas em relação ao modelo anterior:

1. Um maior grau de complexidade, devido ao aumento nas variedades de todos os componentes do sistema produtivo: (materiais, pessoas, máquinas e organização), e
2. Redução dos níveis aceitáveis em termos competitivos dos principais parâmetros do sistema, como *lead-times*, lotes de produção, inventários, etc.

Mesmo que uma empresa atinja, baseada em avanços tecnológicos ou organizacionais, um elevado grau de flexibilidade em seu processo produtivo, a combinação dos dois fatores citados torna insustentável, no longo prazo, a tarefa de gerenciamento do sistema em sua totalidade através de um só órgão centralizado. A solução para este problema reside, então, na simplificação do processo, não pela redução na variedade de seus componentes (pois esta é uma exigência competitiva), mas pela divisão desta complexidade em uma coleção de processos menores. Desta forma, o aumento nas exigências de *performance* do sistema é compensado pela redução do número de componentes a serem controlados por gerências focalizadas. A segmentação ou focalização de atividades em famílias de componentes, máquinas e processos é o objetivo fundamental que norteia a introdução de técnicas de TG no ambiente industrial.

Também no que se refere à integração, ressalta-se um aspecto importante da TG. Há hoje uma tendência crescente no sentido de integração das diversas etapas que envolvem desde o desenvolvimento até a venda de um produto específico. Um dos maiores exemplos de busca desta integração se dá entre os setores de projeto e manufatura. Os produtos projetados têm que ser rapidamente adaptados ao processo existente no chão-de-fábrica, para que se atenda rapidamente às exigências de mercados competitivos (Stalk, 1988). Se as atividades de projeto forem orientadas no sentido de aproveitamento dos componentes ou capacidades de processo já existentes, esta adaptação tende a ser mais rápida. Neste sentido, a utilização de um sistema de classificação e

codificação de partes, uma das técnicas mais tradicionais de TG, pode ser extremamente útil. No que se refere à integração das atividades de manufatura propriamente ditas, a arquitetura em grupo tem a capacidade de eliminar grande parte dos tempos mortos - transportes, preparações, estoques intermediários - observados entre as atividades de fabricação e montagem.

2.2. Tecnologia de Grupo e Indústria

2.2.1. Tecnologia de Grupo e as Técnicas Modernas de Manufatura

Se o desenvolvimento da Engenharia de Produção enquanto ciência ou técnica for analisado em termos históricos, será visível a evolução recente em termos de surgimento de novas técnicas de manufatura. Meredith (1987) realizou um apanhado destas técnicas, classificando-as em três grandes grupos:

1. Técnicas de engenharia, como Projeto Auxiliado por Computador (CAD), Engenharia Auxiliada por Computador (CAE) e Tecnologia de Grupo (TG);
2. Técnicas de manufatura, como as já citadas FMS, Manufatura Celular e TG;
3. Técnicas gerenciais, como Planejamento dos Requisitos de Manufatura (MRP II), *just-in-time* e TG.

A TG, como se pode verificar, foi alocada pelo autor nos três grupos de técnicas denominadas "tecnologias da fábrica do futuro". Por quê? Segundo o autor, isto se deve ao fato de a TG não ser uma técnica com um fim em si mesma, mas uma ferramenta de auxílio às outras diversas tecnologias de manufatura.

Esta é, sem dúvida, a principal razão do grande interesse no estudo e aplicação da TG no ambiente fabril. As modernas técnicas de produção, principalmente JIT, Manufatura Celular e FMS, são todas baseadas no conceito de agrupamento, segmentação ou focalização dos diferentes materiais, atividades e máquinas existentes no ambiente fabril. Sabe-se, por exemplo, que a implantação do JIT tem como pré-requisito básico a lógica de atividades por pequenos grupos, traduzida no *layout* por células ou ilhas de produção. Ora, a implementação de células de manufatura é a principal aplicação de TG nos tempos atuais, razão que originou, inclusive, o enfoque deste trabalho.

No caso dos FMS, uma metodologia eficaz para sua implementação passa primeiro pela definição de células de manufatura automatizadas ou semi-automatizadas para, após, realizar-se a integração destas ilhas através de sistemas de transporte, quando isto for tecnológica e economicamente justificável (O'Grady, 1989). Segundo Wiley (1986), os avanços na tecnologia de automação são mais efetivos quando aplicados à produção de pequenos lotes, o que exige a substituição do modelo de economias de escala pelo de economias de escopo. (Goldhar e Jelinek, 1983)

A origem da aplicação da TG no ambiente fabril reside, então, na possibilidade que esta tem de auxiliar na implementação de diversas outras técnicas modernas de produção.

2.2.2. Os Benefícios da Tecnologia de Grupo por toda a Empresa

Servindo como uma ferramenta de auxílio à implantação de diversas tecnologias de projeto, manufatura ou gerência industrial, a TG propicia a obtenção de ganhos não só no setor de produção propriamente dito mas em diversas outras fases ou áreas de uma empresa. Assim, atividades como projeto e desenvolvimento de produtos, manutenção, compras, vendas, custeio e recursos humanos podem, direta ou indiretamente, ser melhoradas através da aplicação de técnicas de TG. Portanto, ao se tratar dos benefícios e vantagens advindas da aplicação de técnicas de TG no ambiente fabril, é interessante uma avaliação destas nos diversos setores da organização.

Manufatura

A aplicação de TG na implementação da manufatura celular traz benefícios à área de produção nas seguintes atividades: planejamento e controle da produção, troca de ferramentas e manuseio e transporte de materiais (Burbidge, 1992; Groover, 1980).

As atividades ligadas ao ferramental são reduzidas severamente. Isto se deve à similaridade das partes processadas dentro de uma célula, o que reduz a necessidade de trocas e ajustes entre um lote e outro. Além disto, segundo Groover (1980), torna-se possível ordenar os pedidos a serem processados de tal forma a minimizar o tempo total de ajuste entre os lotes.

A racionalização do fluxo dos materiais reduz consideravelmente as atividades de transporte e manipulação. Em termos de custos, ganha-se em redução de sistemas de transporte, pessoal indireto dedicado a estas atividades, perdas devidas à manipulação de materiais, estoques intermediários em fase de transporte, etc.

A redução da complexidade obtida com a focalização de atividades em cada célula ou conjunto de células também facilita as tarefas de sequenciamento da produção. Os problemas tratados pelas heurísticas destinadas à resolução deste problema normalmente sofrem um aumento na sua complexidade em escala exponencial, à medida que aumentam as possibilidades de combinações de máquinas x atividades. Qualquer simplificação no sentido de redução deste problema, reduzindo o número de combinações, pode ter um grande impacto na velocidade e acurácia dos resultados obtidos através da aplicação destas heurísticas.

A TG possibilita, ainda, a obtenção de ganhos expressivos em itens como estoques intermediários, variedade do sistema, área ocupada, *lead-time*, capacidade, qualidade e flexibilização do processo produtivo (Groover, 1980; Harvey, 1983; Burbidge, 1992), conforme abordado em seção anterior.

Projeto e Desenvolvimento de Produtos

Os benefícios nesta área podem ser obtidos principalmente através da utilização de um sistema de classificação e codificação de partes. Através deste sistema, os engenheiros de produto podem acessar rapidamente informações referentes às características físicas e de processo dos componentes existentes, em estágio de produção ou não, o que pode reduzir o número de componentes novos a projetar no desenvolvimento de um novo produto. Além disto, as novas peças a serem desenvolvidas poderão ser construídas a partir de padrões já existentes, reduzindo o tempo total de desenvolvimento e adaptação do protótipo ao sistema de produção da empresa. Muitas vezes, as atividades de projeto podem ser resumidas à adaptação ou realocação de um conjunto de componentes já existentes em um novo produto, numa nova configuração.

Todos estes ganhos no custo e tempo de projeto e desenvolvimento de produtos podem significar uma vantagem competitiva importante para a empresa (que Stalk (1988) denomina "vantagem competitiva baseada no

tempo"). Ao adquirirem uma capacidade de desenvolver novos produtos rapidamente, as empresas diminuem o tempo de resposta às variações observadas no mercado, uma vantagem estrategicamente fundamental.

Outras Áreas

Além dos benefícios obtidos nas engenharias de produto e de processo, existe uma série de oportunidades de verificação de ganhos em outras áreas típicas de uma empresa industrial, como compras, vendas, recursos humanos e custos.

A nível de compras, a TG pode ajudar a reduzir a diversidade de componentes e matérias-primas comumente adquiridos pela empresa, através da identificação de elementos com características e funções semelhantes (Hyer e Wemmerlov, 1984). Isto justifica a compra de lotes maiores dos itens restantes, o que pode resultar em ganhos em preços devido à escala, eliminação de fornecedores deficientes, parcerias com fornecedores maiores e simplificação das atividades de compras. Uma empresa que utilize um sistema de planeamento de necessidades de materiais como MRP e/ou Kanban pode melhorar a eficiência deste sistema, graças à redução no número e na variedade dos itens processados.

Em termos de vendas, um sistema de codificação e classificação de partes pode ajudar na identificação rápida de produtos que correspondam às necessidades levantadas pelos clientes. No caso de indisponibilidade de algum produto para entrega, o sistema pode auxiliar na identificação de uma peça que cumpra as funções da anterior, identificando, também, as prováveis modificações a serem realizadas.

Em termos de recursos humanos, podem ser obtidos avanços no que diz respeito ao envolvimento e conscientização do trabalhador de fábrica. A utilização de TG para a formação de células de manufatura intensifica a necessidade de trabalho em pequenos grupos. Segundo Groover (1980), os trabalhadores tornam-se capazes de visualizar sua contribuição na confecção dos produtos de forma mais direta. Eles tornam-se mais responsáveis em aspectos como qualidade e pontualidade dos componentes entregues ao posto operativo seguinte. Em resumo, o sistema de trabalho em grupo pode incutir nos trabalhadores um sentimento cooperativo, em substituição ao modelo

individualista competitivo tradicional. Do ponto de vista social, isto pode resultar em avanços nas negociações envolvendo capital e trabalho.

A nível de custeio, a TG pode facilitar a orçamentação dos produtos ainda na fase de projeto e também a implementação de sistemas de controle de custos com origem nas atividades operacionais, como as Unidades de Esforço de Produção (UEPs) e o Sistema de Custeio por Atividades (ABC). Em termos de orçamentação, um banco de dados contendo informações relativas aos componentes já existentes e o custo de cada um pode servir de parâmetro inicial à estimativa de custos de novas partes, de acordo com as famílias às quais estas pertencem. Este enfoque também pode facilitar a própria escolha das partes a serem utilizadas ou redesenhadas, buscando-se minimizar o custo do produto proposto (Hyer e Wemmerlov, 1984).

O sistema de controle em um ambiente de manufatura celular é facilitado, dado que as tarefas operacionais diretas e, muitas vezes, indiretas, são realizadas em locais fisicamente próximos. A absorção dos custos produtivos pode, portanto, ser visualizada tanto pelo responsável pelo controle como pelos operadores. Os valores registrados tendem a ser mais precisos e mais facilmente compreendidos.

A aplicação de conceitos de agrupamento de atividades em um sistema específico não traz, portanto, benefícios apenas às áreas de fabricação e montagem propriamente ditas. A boa utilização de técnicas de TG pode resultar em melhorias em todas as fases do processo, do fornecimento de materiais à venda ao consumidor. Uma análise crítica das potenciais vantagens e desvantagens da aplicação da Tecnologia de Grupo em Manufatura Celular será apresentada no tópico 2.3.3.

2.3. Manufatura Celular

2.3.1. O Conceito de Células de Manufatura, Manufatura Celular e FMS

Ao contrário da conceituação de tecnologia de grupo, a definição de célula de manufatura não difere muito entre os autores revisados. Existe apenas uma diferenciação no que concerne aos conceitos de 'célula de manufatura' e 'manufatura celular'. Alguns autores, como Gaither, Frazier e Wei (1990) e Harvey (1983), fazem distinção entre os dois conceitos. Segundo Gaither, "manufatura celular é uma forma de produção na qual máquinas,

ferramentas, pessoas e materiais são agrupados em células de manufatura". Assim, o autor entende a manufatura celular como um enfoque, quase uma filosofia de produção, baseada em um sistema de disposição física dos meios de produção denominado células de manufatura. Sundaram (1987), no entanto, agrega os dois conceitos em um só, ao conceituar: "manufatura celular pode ser definida como um sistema produtivo consistindo de vários equipamentos de diferentes tipos destinados à manufatura de uma família ou grupo de partes que requerem um processamento similar."

De acordo com os objetivos deste trabalho, será mantida a conceituação de Gaither. Uma célula de manufatura pode ser entendida como o arranjo físico de máquinas e pessoas, a fim de realizarem as atividades necessárias à transformação dos materiais e insumos em uma família específica de produtos ou componentes. Manufatura celular, por sua vez, compreende um modelo de produção baseado na existência de células de manufatura.

Na literatura clássica de produção, existem dois tipos básicos de *layout* em manufatura: o *layout* funcional, departamentalizado, desenvolvido a partir dos conceitos de Taylor e o *layout* por produto, uma extensão ao setor de fabricação da linha de montagem fordista.

O *layout* celular pode ser definido, em comparação aos dois primeiros, como uma coleção de linhas dedicadas (cada célula é uma linha) à fabricação de uma família de peças. Os departamentos do sistema taylorista são repartidos e seus pedaços reagrupados de forma mista, como várias porções de uma salada de frutas. A quantidade de cada estação de trabalho alocada em cada célula deve ser basicamente unitária, exceto nos casos em que o balanceamento da célula torna necessária a alocação de mais de uma máquina do mesmo tipo em uma mesma célula. Cada célula tem seu próprio grupo de trabalho e maquinário necessários à produção da família de componentes a ela alocado (Prickett e Coleman, 1992).

As células de manufatura podem ser tanto manuais como automatizadas. Podem estar combinadas, ligadas e interligadas por sistemas de transporte manuais, automatizados ou autônomos. Um Sistema Flexível de Manufatura (FMS) nada mais é do que uma coleção de células automatizadas, totalmente integradas por um sistema automático de movimentação e manipulação (Groover, 1980). Além disto, o controle das operações é centralizado por um sistema de computação alimentado por dados coletados *on line*.

Fábrica focalizada é um conceito que difere de células de manufatura, pois não se refere a um tipo de *layout* específico. Compreende simplesmente a segmentação, a separação das diversas atividades diretas e indiretas da produção em fábricas menores, direcionadas à fabricação de uma família específica de produtos ou componentes, normalmente similares (Skinner, 1974). O *layout* de uma fábrica focalizada pode ser celular, em linha ou funcional.

2.3.2. A Natureza da Manufatura Celular

Gaither, Frazier e Wei (1990) fizeram um apanhado de considerações a respeito das principais características observadas em aplicações práticas de células de manufatura na indústria. Algumas destas considerações, acrescidas de comentários, serão aqui apresentadas, com o objetivo de esclarecer a configuração efetivamente assumida pela manufatura celular em casos práticos de implantação na indústria. Os números apresentados referem-se à análise estatística de casos práticos de implantação da manufatura celular.

As Células de Manufatura têm sido utilizadas principalmente em indústrias do ramo metal-mecânico (além do eletro-eletrônico), sem distinção de porte. Este fato não causa surpresa: o mesmo ocorre quanto à utilização de outras tecnologias de manufatura como JIT, FMS e CAD/CAM. A indústria metal-mecânica apresenta alguns elementos facilitadores à implementação destas técnicas, como qualificação da mão-de-obra acima da média, áreas de fabricação e montagem bem definidas, *layout* funcional, produtos tangíveis e geralmente de alto valor agregado, produtos e processos normalmente pouco padronizados¹, além de outras características, o que facilita e justifica ganhos potencialmente altos obtidos através da implantação destas técnicas.

O número de células existentes em cada empresa ao final da implantação normalmente é pequeno, com uma média de 5 ou 6 no total. A quantidade de partes processadas nestas células gira em torno de 10% do total de componentes existentes na fábrica. Assim, nota-se que a implantação de células de manufatura normalmente não envolve o total das atividades da empresa, mas apenas as áreas em que esta foi possível, interessante ou econômica e tecnicamente justificável. É necessário um estudo aprofundado

¹Certamente contribui a isto a alta competitividade do setor, registrada principalmente após a entrada dos fabricantes japoneses na década de 70, o que comprimiu as margens de lucro, induziu uma redução no ciclo de vida dos produtos e obrigou as empresas a adotarem novas soluções.

para que se descubra as causas deste fenômeno, mas é certo que a inexistência de algumas pré-condições à formação de células como *set-up* rápido, grande número de componentes, envolvimento das pessoas, lotes de produção reduzidos e garantia de qualidade pode dificultar a formação de células em algumas áreas da empresa. Em relação aos lotes de produção, o tamanho médio destes dentro de uma célula gira em torno de 750 unidades.

O número de trabalhadores e máquinas existentes em cada célula normalmente é pequeno, ficando entre 2 e 15 trabalhadores e, em média, 6 máquinas. Este parâmetro é importante para que se defina, mais tarde, o número e o tamanho adequado das células a serem implementadas em uma fábrica.

Por último, os autores citam: "Células são normalmente formadas reunindo-se as partes produzidas em um *job-shop* já existente." Este fato demonstra que, na prática, as empresas que formam células de manufatura partem inicialmente de uma estrutura *job-shop*, ou seja, *layout* por atividades direcionado à fabricação de grande variedade de itens. Por esta razão, a metodologia desenvolvida no presente trabalho assume como condição inicial um ambiente intermitente-repetitivo semelhante à estrutura clássica de *job-shop*.

2.3.3. Vantagens e Desvantagens da Manufatura Celular

As principais vantagens e desvantagem obtidas a partir da implantação de células de manufatura foram condensadas a partir de Harvey (1983), Sundaram (1987) e Gaither, Frazier e Wei (1990), acrescida de comentários.

Vantagens:

1. A simplificação dos roteiros de produção e dos relacionamentos entre componentes e máquinas aumenta a acurácia dos sistemas de planejamento e controle da produção, simplificando sua execução.
2. A redução das distâncias entre as operações minimiza as atividades de transporte e manuseio de materiais.
3. À medida que aumenta o grau de similaridade entre as partes processadas na mesma célula, o tempo de *set-up* entre os lotes aí

processados tende a reduzir-se automaticamente, justificando economicamente a redução destes lotes e aumentando a capacidade produtiva.

4. A similaridade entre os componentes normalmente possibilita a padronização de máquinas e ferramentas, reduzindo a diversidade destas e, conseqüentemente, a ociosidade dos meios de produção.
5. Como conseqüência desta padronização, o processo produtivo torna-se mais simples, o número de relações é reduzido. Isto facilita enormemente a automação posterior das células.
6. O trajeto percorrido pelos componentes é reduzido consideravelmente, o que direta e indiretamente reduz tempos mortos entre as operações. Assim, o tempo total de fabricação e os estoques intermediários são reduzidos.
7. A variedade das atividades desempenhadas por uma mesma máquina é reduzida. Isto possibilita treinamentos mais rápidos e ganhos de qualidade advindos de um conhecimento maior por parte dos operadores, além de facilitar a criação de cargos multifuncionais.
8. Também no que se refere à mão-de-obra, a organização do trabalho dentro da célula tende a melhorar o sistema de relacionamento em equipe, o grau de envolvimento e a participação dos trabalhadores.
9. A redução das variedades associadas ao sistema e a conscientização dos trabalhadores no que tange ao sentido de suas tarefas no contexto geral do processo produtivo, são dois fatores associados à arquitetura em célula que contribuem em termos de melhorias da qualidade no processo.

Desvantagens:

1. A introdução de novos produtos ou componentes muito diferentes dos atuais torna-se mais difícil, já que as células foram desenhadas a partir dos componentes existentes na fábrica. Em alguns casos, é necessária uma redefinição no *layout*. Para minimizar este problema, as atividades de projeto devem tomar como ponto de partida características de componentes já existentes, na definição de novos produtos.
2. No primeiro momento, muitas máquinas grandes são dedicadas a células específicas, aumentando sua ociosidade. Este problema é

eliminado à medida que se troque estas máquinas por outras de menor capacidade, justificando economicamente sua dedicação à uma pequena variedade de componentes, o que transforma isto em uma vantagem da manufatura celular.

3. A tarefa de modificar o *layout*, envolvendo movimentação de máquinas, envolve vários custos com instalações elétricas e hidráulicas, reformas, dias parados, etc.
4. Em muitos casos onde deseja-se minimizar o nível de movimentações de elementos entre células, torna-se necessário o investimento em máquinas redundantes de produção, aumentando, no primeiro momento, a ociosidade geral da firma, a exemplo da segundo item. O 'trade-off' custo do investimento x custo de movimentações deverá ser analisado caso a caso.

Segundo os autores, no confronto entre as vantagens e desvantagens obtidas através da implantação das células de manufatura, as últimas sempre tendem a ser facilmente superadas. No entanto, é preciso que se execute um projeto de implantação capaz de alcançar efetivamente as vantagens potenciais aqui expostas. O fracasso na implantação de células de manufatura, como ocorre em tantos outros exemplos, não reside em falhas da técnica em si, mas na sua má utilização.

2.3.4. A Formação de Células de Manufatura através da Tecnologia de Grupo

Após a exploração dos objetivos e vantagens obtidos através da introdução da TG no ambiente fabril, torna-se importante identificar claramente a configuração que estas técnicas assumem em termos práticos, em termos de organização do sistema produtivo. É importante frisar, no entanto, que o modelo em quatro estágios que aqui será exposto, originalmente delineado por Martin (1990), representa apenas um modo usual de aplicação de TG no ambiente de fábrica. Como exposto anteriormente, várias outras aplicações podem ser feitas em outras áreas, segundo outros objetivos ou parâmetros. Este modelo concentra-se, então, na aplicação de TG a nível de *layout* fabril, que é o interesse central deste trabalho.

Desde a introdução das técnicas de TG até a formação efetiva de células de manufatura ou ilhas de produção, tem-se um processo metodológico evolutivo que se desenvolve em quatro etapas principais.

Inicialmente, utiliza-se um (ou alguns) dentre as dezenas de métodos existentes na literatura voltados à formação de famílias de partes, produtos ou componentes. Estas famílias são formadas geralmente a partir das semelhanças observadas em termos de processo produtivo, ou seja, por quais máquinas ou postos operativos cada componente passa durante sua fabricação e montagem. Outros parâmetros podem ser utilizados, conforme o objetivo do trabalho, como volume de produção, materiais utilizados, dimensões, etc. As variáveis utilizadas para o agrupamento das partes servirão como um dos parâmetros de escolha das técnicas de formação de famílias mais apropriadas em cada caso. Utilizando-se os roteiros de produção como parâmetros de formação de famílias de peças, automaticamente obtém-se uma lista dos requisitos - máquinas, postos operativos - necessários para cada família. Através de técnicas de balanceamento, utilizando-se o carregamento das máquinas, pode-se estimar também a quantidade de cada um destes recursos que deveria ser alocada a cada família, para que as partes sejam completamente manufaturadas no interior da célula.

Após a obtenção destes dados, pode-se iniciar a segunda etapa do processo, que é a formação de '*clusters*'² onde será localizada a fabricação de cada família. Os itens aí processados podem sair tanto na forma de produto acabado como de componentes de entrada em outros '*clusters*'. Para a operacionalização destas linhas, é essencial que os tempos de preparação entre os lotes dos itens alocados-na mesma família sejam curtos. A similaridade entre as partes normalmente torna estes tempos consideravelmente mais curtos do que na lógica intermitente-repetitiva, embora nem sempre suficientemente curtos, a ponto de justificar economicamente pequenos lotes de produção. Em termos práticos, em muitos casos a disponibilidade inicial de algumas máquinas é menor do que a quantidade total que deveria ser alocada a cada família, na tentativa de processar inteiramente as partes. Neste caso, o custo de investimento de máquinas adicionais deveria ser confrontado com os custos de transporte entre um '*cluster*' e outro.

Após as alterações no *layout* físico, o processo de formação de células de manufatura entra em sua terceira etapa, que se refere à organização do

²Aglomerados de máquinas fisicamente próximas. Tecnicamente, o esqueleto de uma célula de manufatura.

trabalho humano em cada grupo. A princípio, o simples agrupamento de máquinas e componentes afins em grupos não representa a formação de células de manufatura. Esta implica também numa organização do trabalho em forma cooperativa, de trabalhadores igualmente capacitados à manufaturar completamente a família de componentes, utilizando o equipamento apropriado (Martin, 1990). Este é o estágio, portanto, da formação de grupos de trabalho multifuncionais e capacitados, e representa, desta vez, um efetivo rompimento com a teoria clássica de produção baseada na especialização e individualização da mão-de-obra.

Chega-se, assim, ao final da terceira etapa, tendo-se agrupado em um mesmo 'cluster' três elementos essenciais à produção: materiais, máquinas e pessoas. O quarto elemento - a organização ou atividades - que significa a transformação dos três precedentes em bens e serviços úteis, é integrada na quarta e última etapa. Esta consiste na inserção no ambiente operacional de atividades como desenvolvimento de produtos, planejamento, controle, manutenção e materiais. Em termos práticos, pode-se afirmar que a célula é parcialmente 'emancipada' do sistema de gerenciamento central da produção. A partir da integração dos quatro elementos básicos em uma lógica de grupo, obtém-se, em seu conceito amplo, a manufatura celular.

Assim, pode-se obter duas conclusões importantes, relativas ao que foi exposto: (i) a aplicação dos princípios da tecnologia de grupo no ambiente fabril pode envolver vários departamentos e atender a objetivos diversos, sendo um deles a formação de células de manufatura; (ii) de maneira geral, a manufatura celular representa mais do que a integração de máquinas e componentes afins em um mesmo local. Uma célula de produção potencialmente envolve o agrupamento, a nível organizacional e físico, dos quatro elementos básicos de um sistema produtivo: máquinas, materiais, pessoas e atividades.

Capítulo 3

A Formação de Famílias e o Desenho do *Layout* Celular

3.1. Os Métodos de Formação de Famílias

A primeira etapa da implantação de células de manufatura consiste na formação de famílias de componentes, através de técnicas apropriadas de TG. Além de células de manufatura, a formação de grupos de componentes serve à implantação de fábricas focalizadas, à construção de bancos de dados de projetos, à implantação de sistemas de planejamento da produção auxiliado por computador (CAPP), etc. Para a formação de famílias, deve-se utilizar algum método que permita, dada a complexidade inicial dos componentes (devida às suas diversas características de processo, físicas ou estruturais), identificar nesta complexidade os elementos com maior grau de semelhança entre si, a partir de determinados fatores, gerando as famílias.

Desde que iniciaram-se os estudos, na década de 60, das técnicas apropriadas para a formação de famílias, a variedade destas e os aprimoramentos por elas sofridos têm crescido fortemente. Muitos autores dedicam-se atualmente a este estudo. Muitas destas diferentes técnicas relacionam-se quanto a seus objetivos específicos, métodos utilizados ou variáveis envolvidas.

Para que se possa adquirir uma noção genérica acerca do estado atual de desenvolvimento destas técnicas, torna-se interessante a classificação dos métodos mais conhecidos, segundo algum critério. Para a classificação aqui exposta, foram avaliados artigos e revisões de literatura de TG, constantes na bibliografia ao final deste trabalho, buscando-se organizar as técnicas citadas em termos dos enfoques básicos - ou ferramentas- por elas utilizados para a formação de famílias. Dada a diversidade dos parâmetros envolvidos e a dinâmica evolutiva destas técnicas, esta classificação não pode ser avaliada em termos de acuracidade, não pretendendo ser exata ou definitiva. Pretende-se, no entanto, que seja abrangente e adequada numa medida suficiente para a apresentação e entendimento do estado atual de desenvolvimento destes métodos dentro do universo da TG.

As diversas técnicas existentes para a formação de famílias podem ser classificadas, então, conforme a seguinte tipologia:

1. Análise Visual
2. Sistemas de Classificação e Codificação
3. Análise do Fluxo de Produção
4. Coeficientes de Similaridade
5. Métodos de Arranjos de Matrizes
6. Técnicas Baseadas em Grafos
7. Análise de Agrupamentos
8. Programação Matemática
9. Reconhecimento de Padrões
10. Técnicas Diversas

3.1.1. Análise Visual

Este é o método mais simples e barato de agrupamento. Consiste na observação de características visuais dos componentes, como dimensões, materiais empregados e formato, e na sua classificação conforme as similaridades e diferenças observadas em torno destas características.

Por serem baseados em avaliações pessoais, muitas vezes não quantificáveis, os Métodos de Análise Visual têm sua eficácia fortemente dependente do nível de conhecimento e experiência das pessoas envolvidas na sua consecução. Apesar de não ser um método muito preciso, um dos

primeiros casos de sucesso na aplicação de TG nos Estados Unidos, na Molins Machine Co., foi baseado em Métodos de Análise Visual. (Groover, 1980).

Assim, pode-se concluir que a Análise Visual pode ser útil nos seguintes casos:

- Existência de poucos componentes a serem observados;
- As características analisadas são facilmente verificadas ou medidas;
- Deseja-se realizar um 'primeiro' agrupamento, para diminuir a complexidade inicial devido a um número muito grande de componentes;
- Os analistas demonstram grande conhecimento sobre os componentes analisados.

3.1.2. Sistemas de Classificação e Codificação

Segundo Lorini (1993), um Sistema de Classificação e Codificação é uma "... metodologia de formação (e aplicação) de um código numérico ou alfanumérico, com a finalidade de expressar características de um objeto ou de um processo." Estes sistemas são fundamentais em muitas aplicações de TG, especialmente as direcionadas à área de projetos. Também apresentam utilidade na padronização de componentes, integração entre os setores - como elemento facilitador da comunicação - e, finalmente, na implantação de sistemas de auxílio computadorizado ao planejamento de processo (CAPP).

Um sistema de codificação consiste na atribuição de um código, normalmente numérico, a cada componente, de acordo com suas características físicas ou de processo. Podem ser classificados em duas categorias:

1. Sistemas universais
2. Sistemas customizados

Entre os sistemas universais, cabe citar:

- Sistema OPITZ, desenvolvido por H. Opitz, na Alemanha. Foi o sistema pioneiro, baseado em 9 dígitos.
- Sistema KK-3, desenvolvido no Japão pela JSPMI - Sociedade Japonesa para a Promoção de Máquinas Industriais, formado por 21 dígitos.

- Sistema MICLASS, desenvolvido na Holanda, com 12 dígitos (Figura 3.1).
- Sistema SCC/Grucon, desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina, constituído por 17 dígitos (Lorini, 1993).

Entre os sistemas customizados, o mais conhecido é o BRISCH. Ao contrário dos universais, os significados dos códigos destes sistemas podem ser adaptados às necessidades do usuário. O BRISCH foi desenvolvido com o objetivo de cobrir todos os tipos de objetos, como matérias-primas, montagens, ferramentas e máquinas, sendo, portanto, adaptável a várias situações (Choi, 1992). Ao lado deste, pode-se citar ainda o MULTICLASS, desenvolvido em 18 dígitos pela OIR - Organization for Industrial Research (Groover, 1980).

Um sistema de classificação e codificação apresenta grande utilidade nas aplicações de projeto, trazendo benefícios como organização dos desenhos, redução da duplicidade de peças, estimativas rápidas de custos e redução do tempo de desenvolvimento de um novo componente. Ele também pode ser utilizado na formação de células, programação de máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado) e planejamento e sequenciamento da produção. (Ham, 1976). Ozdemirel, Mackulak e Cochran (1993) desenvolveram um sistema de classificação e codificação de postos operativos diretos e indiretos para fins de simulação de sistemas produtivos.

A aplicação de um sistema de classificação e codificação exige uma boa seleção do sistema a ser utilizado, conforme o objetivo e abrangência do trabalho. Além disso, o levantamento criterioso de informações a serem codificadas e a utilização de testes em áreas ou grupos piloto antes da efetiva implementação do sistema são fatores fundamentais para seu sucesso.

Dígito	Significado
1	forma principal
2, 3	elementos de forma
4	posição dos elementos de forma
5, 6	dimensões principais
7	razão entre as dimensões
8	dimensões auxiliares
9, 10	códigos de tolerância
11, 12	códigos de material

Fig. 3.1. O sistema MICLASS. Fonte: Lorini (1993)

3.1.3. Análise do Fluxo de Produção (*Production Flow Analysis - PFA*)

Esta é a técnica pioneira que busca agrupar os componentes a partir das informações constantes nos roteiros de produção. Foi desenvolvida por Burbidge (1971).

O método de Burbidge é executado, genericamente, em 3 etapas principais:

1. Análise do Fluxo de Fábrica
2. Análise de Grupos
3. Análise de Linhas

Na primeira etapa, busca-se dividir uma grande empresa em uma coleção de empresas 'menores', contendo parte das máquinas e dos produtos originalmente existentes. A análise de grupos, então, vai consistir na subdivisão destas empresas menores em grupos de máquinas e cada grande família em famílias menores, associadas a estes grupos. Por último, a análise de linhas busca avaliar o fluxo de materiais em cada grupo de máquinas, buscando planejar o melhor *layout* interno, capaz de minimizar o volume de movimentações entre os diversos postos operativos. Em suma, o método tenta reduzir o problema através de separações e simplificações progressivas.

Burbidge desenvolveu técnicas próprias para a execução de cada uma das três etapas de análise (Burbidge, 1971, 1977, 1992). Na análise de grupos, por exemplo, ele utiliza conceitos tais como: (i) módulos de partes baseados em máquinas chave e (ii) classificação das máquinas quanto à sua utilização (especiais, intermediárias, comuns, gerais e equipamentos).

A metodologia genérica da PFA pode ser aplicada em praticamente qualquer problema de formação de famílias, já que oferece um método ordenado de condução do trabalho, sendo especialmente útil em grandes problemas. As técnicas específicas, no entanto, concorrem com outros métodos também apresentados nesta classificação, como algoritmos, programação matemática e coeficientes de similaridade, requerendo um conhecimento aprofundado dos produtos, processos e operações produtivas, pois dependem muitas vezes de avaliações subjetivas (Choi, 1992). O fato das técnicas serem manuais também torna sua utilização muito cara em casos extensos, embora sua boa condução possa levar a resultados superiores aos gerados por métodos puramente computacionais ou matemáticos.

3.1.4. Coeficientes de Similaridade

Este método parte do cálculo do nível de similaridade entre pares de componentes ou pares de máquinas. Posteriormente, estes coeficientes são analisados e eventualmente agrupados. Os coeficientes, após calculados, servem de base à construção de dendogramas, que representam graficamente o grau de similaridade entre os elementos, desde o nível 1,0 (total similaridade), até o nível 0,0 (total dissimilaridade).

Os coeficientes de similaridade aplicados são diversos, e normalmente se referem, no caso de componentes, ao número de máquinas comuns por eles ocupadas e, no caso de máquinas, ao número de componentes comuns por elas fabricados. Shafer e Rogers (1993a, 1993b) apresentam um resumo e uma comparação entre diversas medidas de similaridade existentes na literatura, entre elas os coeficientes de Jaccard, SCP e Euclidianos.

Mcauley (1972) desenvolveu um dos métodos mais conhecidos, chamado Análise de Agrupamentos de Ligação Única (*Single Linkage Clustering Analysis*). Este método é baseado no coeficiente de Jaccard (Freitas, 1992), que é dado por:

$$S_{jk} = N_{11} / (N_{11} + N_{10} + N_{01}),$$

Eq. 3.1.

onde:

S_{jk} = coeficiente de similaridade entre as máquinas 'j' e 'k'

N_{11} = número de componentes que passam tanto por 'j' como por 'k'

N_{10} = número de componentes que passam somente por 'j'

N_{01} = número de componentes que passam somente por 'k'

Seiffodini e Wolfe (1986) desenvolveram um algoritmo baseado em coeficientes de similaridade capaz de trabalhar com máquinas duplicadas.

Gupta (1993) apresenta uma heurística baseada em coeficientes de similaridade capaz de considerar os roteiros alternativos de produção.

Após o cálculo dos coeficientes, a definição das famílias se dará pela construção e análise do dendograma. Quanto maior o nível de corte (coeficiente necessário para justificar a formação de uma célula), maior o número de grupos formados. Desta maneira, conclui-se que a utilização deste método exige uma decisão inicial do analista a respeito ou do número e

tamanho dos grupos que ele deseja obter ou do grau de similaridade desejado para a formação de grupos.

A execução do método para a solução de problemas pequenos é relativamente simples. Para problemas maiores, a existência de um grande número de elementos pode exigir uma aplicação computacional do método, dado o grande número de coeficientes a serem calculados.

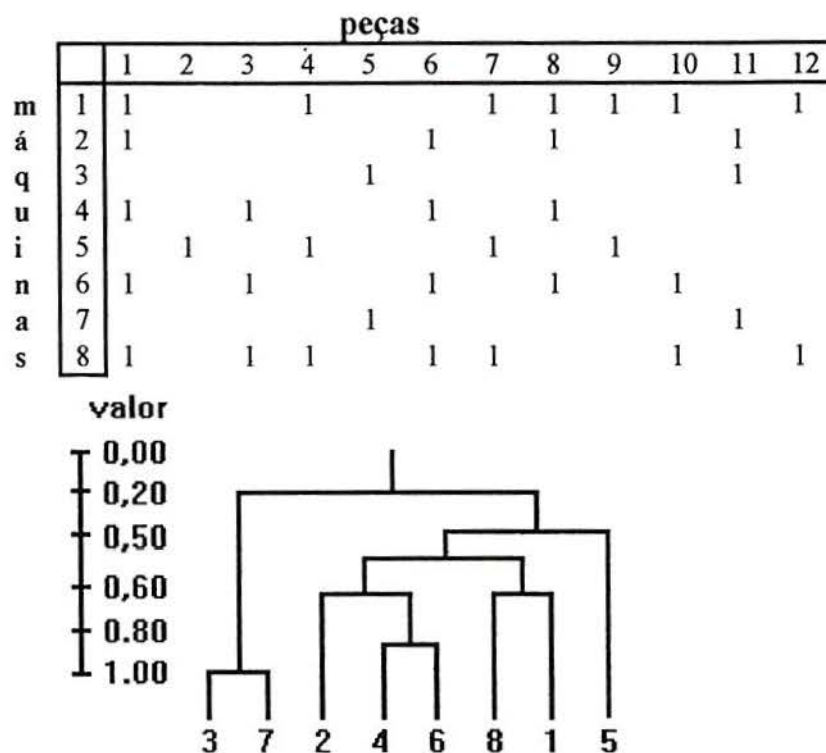


Fig. 3.2. Matriz de Incidência Máquina-Peça e o Dendograma de Agrupamento respectivo. Fonte: Freitas (1992)

3.1.5. Métodos de Arranjo de Matrizes

Estes métodos buscam interagir diretamente sobre uma matriz de incidência de máquinas x componentes, com o objetivo de reordenar as linhas e colunas, posicionando os elementos não-zero em sua diagonal principal (Boctor, 1991). A matriz de incidência é obtida a partir dos dados contantes nos roteiros de produção. Se um componente 'i' passa pela máquina 'j' em alguma etapa de seu processamento, a célula i,j da matriz receberá valor '1'; do contrário, seu valor será nulo.

Nesta categoria, os métodos provavelmente mais conhecidos e citados são o ROC - Rank Order Clustering (King, 1980) e o Bond Energy Algorithm - BEA (McCormick, Schweitzer e White, 1972).

King e Nakornchai (1982) trabalharam numa evolução do ROC, chamada ROC2, capaz de operar eficientemente com problemas maiores.

Chow e Hawaleshka (1993) desenvolveram um algoritmo capaz de indicar a que célula deve pertencer cada elemento com incidências extracelulares (casos em que parte das operações referentes a um determinado componente devem ser realizados em uma célula, e o restante em outra).

Além destes, existem outros algoritmos, como o Direct Clustering Algorithm - DCA (Chan e Miller, 1982) e o Close Neighbour Algorithm (Boe e Cheng, 1991).

		componentes																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
											0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
m á q u i n a s	1		1	1					1	1		1		1	1		1	1		1		
	2			1	1		1	1							1					1		1
	3			1						1	1		1		1	1		1	1		1	
	4				1	1		1	1			1								1		1
	5	1					1	1				1		1			1		1			
	6	1					1				1	1		1			1					1
	7				1	1		1	1				1	1							1	1
	8				1			1	1												1	1
		3	4	6	7	1	2	2	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1
						8	0				1	3	4	6	7	9			0	2	5	
	7	1	1	1	1	1	1				1										1	
	2	1	1	1	1	1	1						1									
	4	1	1	1	1	1	1													1		
	8	1	1	1	1	1	1															
	1	1							1	1	1	1	1	1	1	1	1					
	3	1							1	1	1	1	1	1	1	1						
	5			1											1			1	1	1	1	1
	6						1				1							1	1	1	1	1

Fig. 3.3. Matriz de incidência antes e após interações do "Close Neighbour Algorithm" Fonte: Boe & Cheng (1991)

O objetivo da manipulação da matriz, com o posicionamento dos elementos não nulos na diagonal principal, é facilitar ao analista a 'leitura' da matriz, com o objetivo de identificar as famílias de máquinas e componentes simultaneamente. O sucesso na utilização destes métodos reside muito na habilidade do analista em identificar estes grupos após as interações. Matrizes com grande incidência (muitos produtos passam por muitas máquinas) ou muitos elementos extra-celulares (elementos fora da diagonal principal após o rearranjo) dificultam esta tarefa. Boe e Cheng (1991) realizaram um comparativo entre estes métodos e outros em torno de parâmetros como eficiência, eficácia dos resultados e tempo de processamento computacional requerido para a obtenção dos resultados.

3.1.6. Técnicas Baseadas em Grafos

Estes métodos tratam do sistema produtivo como um conjunto de nodos conectados por arcos. Os nodos representam as máquinas e componentes do sistema, e os arcos representam o processamento das peças. Estes métodos buscam obter sub-grafos desconectados do grafo principal como forma de identificar os conjuntos de máquinas e peças com maior similaridade entre si. Estas técnicas são baseadas diretamente na teoria de redes e em grafos (Srinivasan e Narendran, 1991).

Vanelli e Kumar (1986) desenvolveram um método que busca identificar e minimizar o número de máquinas gargalo, duplicando-as quando necessário. O usuário especifica o número de nodos (máquinas mais componentes) em cada grupo e o nodo inicial de cada grupo.

Wu e Salvendy (1993) apresentam um algoritmo baseado em redes que busca formar as células minimizando o número final de elementos extra-celulares.

Rajagolapan e Batra (1975) formularam o problema em grafos e aplicaram um algoritmo de repartição para identificar os grupos. A técnica consiste no estabelecimento de ligações entre os nodos que possuírem um pré-determinado coeficiente de similaridade entre si, o que permitirá identificar os grupos.

As técnicas baseadas em grafos são interessantes por sua capacidade de representação visual e possibilidades de especificações do usuário quanto ao

número e tamanho dos grupos. Além disto, elas têm a capacidade de identificar simultaneamente grupos com máquinas e peças (Heragu, 1991). No entanto, exigem a participação efetiva do analista na tomada de algumas decisões, ao contrário de técnicas mais simples ou com computação mais objetiva.

3.1.7. Análise de Agrupamentos

Estes métodos utilizam, em sua concepção algoritmos divididos em hierárquicos e não-hierárquicos.

Os algoritmos hierárquicos inicialmente consideram cada máquina ou peça como um grupo e, progressivamente, baseando-se em algum parâmetro de comparação, vão agregando estes elementos entre si, até que todos formem um mesmo grupo (Srinivasan e Narendran, 1991). Isto pode ser representado por um dendograma, do mesmo tipo dos utilizados pelos métodos de coeficientes de similaridade. Stanfel (1985) partiu do oposto. Ele inicia com todos os elementos em um mesmo grupo e vai dividindo estes em grupos menores, buscando minimizar as movimentações entre grupos.

Chandrasekaran e Rajagolapan (1987) desenvolveram um algoritmo chamado ZODIAC, o único método de agrupamento não-hierárquico registrado até aqui. É chamado de não-hierárquico porque possui um procedimento interativo inicializado por uma semente, ao contrário dos hierárquicos, que são progressivos.

3.1.8. Programação Matemática

Os métodos de programação matemática buscam formar famílias a partir da definição de funções objetivo e da formulação de restrições ao atingimento destas funções. Exemplos de funções objetivo encontradas na literatura são a maximização dos coeficientes de similaridade, minimização dos custos de investimentos mais movimentações e minimização dos tempos de atravessamento (Freitas, 1992).

Kusiak (1987) desenvolveu um modelo chamado 'p-mediana', que busca maximizar a soma dos coeficientes de similaridade para um número fixo de

grupos, sob a restrição que cada elemento deverá ser atribuído a um único grupo (Srinivasan e Narendran, 1991).

Ng (1991) apresenta um modelo que trabalha com a maximização da "*Bond Energy*" - medida de eficácia do agrupamento, desenvolvida por McCormick - a partir da formulação do problema clássico do caixeiro viajante. Botor (1991) desenvolveu um modelo que busca minimizar o número de elementos excepcionais existentes na matriz após sua ordenação.

Ribeiro e Pradin (1993) desenvolveram uma metodologia em duas fases. Na primeira, um modelo busca identificar, dentre as máquinas existentes em determinado sistema, quais deveriam ser colocadas em células de manufatura. Na segunda, outro modelo é encarregado de realizar o agrupamento, buscando minimizar o número de elementos extra-celulares, dados um tamanho mínimo e máximo para as células finais.

Dahel e Smith (1993) apresentam dois modelos: um de programação inteira, que busca minimizar o volume de movimentações intercelulares, sujeito a restrições de capacidade e de tamanho máximo das células e um segundo modelo, multiobjetivo, que busca formar células ao mesmo tempo flexíveis e com baixo índice de interrelacionamento externo.

Lee e Garcia-Diaz (1993) adaptaram um modelo a partir do problema clássico do transporte, buscando minimizar o caminho total percorrido pelos componentes nas máquinas.

Logendran (1990) busca minimizar os custos totais de movimentação intra e extra-celular. Wei e Gaither (1990) desenvolveram um modelo para várias funções objetivo, como utilização de capacidade, movimentações, distâncias físicas, etc.

Devido à sua complexidade, os modelos de programação matemática devem ser utilizados em empresas que dispõem de pessoas habilitadas não só para sua formulação mas também para compreender e interpretar corretamente os resultados gerados e as regras utilizadas para sua obtenção. Além disto, como o número de restrições do modelo é normalmente proporcional ao número de máquinas e componentes existentes, estes são mais indicados para casos de pequena e média variedade. Finalmente, os coeficientes como custos, tempos e capacidades devem representar, senão fielmente, ao menos com

grande grau de aproximação a realidade, pois estes interferem fortemente no acerto dos resultados gerados pelo modelo.

3.1.9. Reconhecimento de Padrões

Este método baseia-se simplesmente na análise e comparação dos elementos em torno de determinadas características, presentes ou não em cada elemento. Os elementos que apresentarem um maior número de características comuns são alocados a um mesmo grupo. Os padrões de comparação podem ser relativos tanto a características de processo como a características físicas.

Uma técnica adequada para a condução deste método consiste na formação de uma matriz binária de componentes x características. O vetor linha de cada componente representará, então, a presença ou não dos diversos parâmetros analisados. Além das informações binárias, valores numéricos como dimensões e peso podem ser incluídos no final da matriz (Lorini, 1993).

A análise ponderada dos valores representados pelos vetores pode indicar o grau de semelhança entre os componentes. Esta análise dispensa a implantação de sistemas de classificação e codificação, pois o 'código' de cada peça é o seu próprio vetor linha.

Este método é, na verdade, muito semelhante à análise visual, possuindo vantagens semelhantes, e é indicado para situações semelhantes. No entanto, é um sistema mais organizado, pois obriga o analista a atribuir valores aos componentes com base em suas características. Por esta razão, as etapas de análise e classificação dos dados podem ser realizadas em ambiente computacional.

3.1.10. Outras Técnicas

Além das técnicas tradicionais de agrupamento, diversos autores têm se empenhado no desenvolvimento de novos métodos, com o objetivo de resolver o problema de forma mais eficaz, eficiente e capaz de compreender, além dos roteiros de produção e características físicas, outras variáveis, como tempos de processo e preparação, capacidade, custos e balanceamento da produção. Apesar de não estarem ainda consolidadas ou razoavelmente difundidas, todas

estas técnicas são passíveis de utilização em determinados casos e ambientes, exigindo apenas critérios na aplicação e análise dos resultados gerados.

Chu (1993) definiu um algoritmo em redes neurais que utiliza o paradigma computacional chamado 'aprendizado competitivo', capaz de reduzir consideravelmente o tempo de processamento computacional do algoritmo.

Chu e Hayya (1991) desenvolveram métodos baseados em matemática difusa (*fuzzy c-means clustering algorithm*). Esta abordagem é interessante pelo fato de não alocar cada parte a uma família determinada, mas atribuir a ela um 'grau' de ligação com cada família existente, o que flexibiliza as decisões de formação dos grupos. Kusiak (1988) definiu uma técnica baseada em sistemas especialistas. Ballakur e Steudel (1987) desenvolveram uma heurística de utilização intra-célula (*within-cell utilization heuristic*).

Por fim, é interessante citar a existência de métodos mistos, formados por uma combinação de diferentes técnicas. É o caso de Gu e El Maraghy (1986) que desenvolveram um enfoque em três fases: um algoritmo de agrupamento, um modelo matemático de otimização e uma heurística de separação. Balasubramanian e Panneerselvan (1993) apresentam uma heurística também de três fases, composta por um agrupamento inicial pelo método ROC, uma matriz de similaridades componentes x células, baseada em custos de movimentações e, por último, uma análise econômica que busca orientar sobre a formação das famílias de forma a minimizar os custos totais de movimentações, máquinas paradas e horas extras.

3.1.11. A Escolha do Método mais Adequado

Apesar de alguns estudos comparativos terem demonstrado a superioridade de algumas técnicas em relação a outras (Boe & Cheng, 1991; Srinivasan & Narendran, 1991; Freitas, 1992), não é possível até este ponto se definir uma escala que, objetivamente, compare o desempenho das diversas técnicas apresentadas. Em termos práticos, o que existe é uma maior ou menor adequação de cada método a cada caso. Cabe ao analista definir qual ou quais métodos utilizar, dependendo dos objetivos e das características do estudo.

Alguns dos parâmetros que podem servir de base a esta escolha são:

- Os objetivos do estudo: a implantação de células manuais ou autônomas, de banco de dados para projetos, de FMS, de sistemas de auxílio ao planejamento da produção (CAPP), etc.;
- O nível de complexidade do problema: a diversidade de componentes, diversidade de máquinas, quantidade e acurácia dos dados utilizados, seqüenciamento da produção, roteiros alternativos, etc.;
- Os objetivos do agrupamento: a formação de famílias de peças, de famílias de máquinas ou, simultaneamente, a formação de famílias de peças e das respectivas máquinas;
- A relação custo x eficiência que se deseja obter no estudo. Naturalmente, na maior parte das vezes, os métodos mais eficazes são os que exigem maior custo em sua aplicação;
- O tempo disponível para o aprendizado e aplicação do método;
- A capacitação das pessoas envolvidas direta e indiretamente na análise; o conhecimento que elas têm da técnica e a capacidade de compreensão do que está sendo feito;
- Os recursos computacionais disponíveis;
- Os dados disponíveis: a facilidade de obtenção e integração, se possível digital, destes dados ao estudo; o custo desta obtenção e a acurácia dos dados.

Naturalmente, para que se possa acertar na escolha do método, é necessário que se conheça ao menos sucintamente vários destes. As fontes citadas contêm informações suficientes para isto. De modo geral, não é errado afirmar que qualquer método, se bem aplicado, pode trazer resultados interessantes. No entanto, a utilização de TG na implantação de sistemas caros como FMS deve ser mais rigorosa, pois o custo posterior da baixa eficácia dos resultados gerados pode ser alto, ou seja, quanto maiores os recursos envolvidos no projeto, maior deve ser o rigor na escolha e aplicação da técnica. Além disto, em muitos casos, a utilização de vários métodos em paralelo ou em série, em diversas etapas do trabalho, é um exercício interessante.

O processo de escolha do método adequado especificamente à formação de células de manufatura será abordado no Capítulo 4, quando serão analisadas algumas das técnicas citadas, à luz dos parâmetros acima apresentados.

3.1.12. A Eficiência do Agrupamento

Devido à crescente diversidade de métodos de agrupamento desenvolvidos, surgiu a necessidade de criação de parâmetros objetivos de avaliação dos resultados obtidos pela aplicação de diversos métodos sobre um mesmo problema, a fim de concluir-se sobre qual das soluções apresentadas seria a mais interessante.

A avaliação da qualidade de um determinado agrupamento, partindo-se dos resultados obtidos na matriz de incidência reordenada, é dada por dois fatores:

- O número de elementos extra-celulares, isto é, o número de incidências não agrupadas em qualquer uma das células identificadas, o qual tem de ser minimizado e
- O grau de similaridade observado entre os diversos elementos alocados a uma mesma célula, o qual deve ser maximizado.

O que ocorre, em termos práticos, é que há uma espécie de *trade-off* entre estes dois parâmetros. Se, através da criação de células adicionais, duplicação de máquinas, ou por qualquer outro meio, tentarmos minimizar o número de elementos extra-celulares, o grau de similaridade médio intra-celular vai provavelmente diminuir (Askin et al, 1991). Assim, um coeficiente que meça o grau de qualidade de um determinado agrupamento, calculado a partir dos resultados observados em relação a estas duas variáveis, deverá se concentrar em uma determinada medida de equilíbrio entre elas.

Chandrasekaran e Rajagolapan (1986, 1989) desenvolveram um indicador de eficiência do agrupamento (*Group Efficiency*, ou GE), baseando-se nesta análise. Uma primeira apresentação deste indicador vem dada a seguir:

$$GE = p\theta_1 + (1 - p)\theta_2 \quad 0 \leq p \leq 1$$

Enquanto θ_1 e θ_2 são computados como:

$$\theta_1 = \frac{e_1}{\sum_{r=1}^k Gr Cr}$$

Eq. 3.3

$$\theta_2 = 1 - \frac{e_0}{(MN - \sum_{r=1}^k Gr Cr)}$$

Eq. 3.4

onde:

- K = número total de células identificadas;
- M = número total de linhas (máquinas) na matriz de incidência;
- N = número total de colunas (componentes) na matriz de incidência;
- e1 = número total de incidências intra-celulares após reordenamento;
- e0 = número total de incidências extra-celulares após reordenamento;
- Gr = número total de linhas (máquinas) na célula 'r';
- Cr = número total de colunas (componentes) na célula 'r';
- p = fator de ponderação da média.

Além disso, θ_1 e θ_2 podem ser definidos, respectivamente, como a taxa de incidências registradas dentro das células sobre o total de incidências (valor '1') possíveis e como a taxa de não incidências (valor '0' ou 'branco') registradas fora das células identificadas em relação ao total de não incidências - ou espaços - possíveis.

De forma objetiva, o GE calculado significa a média ponderada entre estas duas taxas que, simplificada, representam respectivamente o segundo e o primeiro parâmetros de avaliação da qualidade do agrupamento definidos anteriormente.

Em 1989, os autores apresentaram uma fórmula simplificada do cálculo acima, com o mesmo princípio:

$$GE = qn_1 + (1-q)n_2 \quad 0 \leq q \leq 1$$

Eq. 3.5

onde:

$n1 = \frac{\text{número de entradas com '1' nos blocos diagonais (células)}}{\text{número total de entradas nos blocos diagonais}}$

$n2 = \frac{\text{número de entradas com '0' fora dos blocos diagonais}}{\text{número total de entradas fora dos blocos diagonais}}$

$q = \text{fator de ponderação}$

Há duas formas interessantes de utilização deste indicador. Na primeira, como foi dito, pode-se calcular os diferentes GE's para cada resultado gerado por um diferente método de agrupamento para uma mesma matriz. Quanto maior o GE, melhor o resultado teórico do método. Assim, pode-se escolher o resultado de maior GE. Este é um método objetivo de comparar, inclusive, a eficácia dos diferentes métodos utilizados.

Em segundo lugar, é comum que, após o agrupamento da matriz segundo a heurística proposta, façam-se ajustes 'manuais' sobre esta. Ajustes como o deslocamento de determinado componente ou máquina de uma para outra célula, ou a eliminação ou inclusão de incidências dentro das células, quando existem roteiros alternativos inicialmente não considerados. Para cada modificação destas, pode-se recalculá-lo GE da matriz para, objetivamente, concluir se o resultado desta modificação 'forçada' é melhor que o anterior.

3.2. Princípios do *Layout* Celular

3.2.1. Objetivos do *Layout*

Durante o processo de implantação da manufatura celular, especialmente na etapa de desenho das células - disposição física das máquinas, pessoas e ferramentas - deve-se ter em mente, antes de tudo, seus objetivos básicos.

No capítulo anterior, foram apresentadas e discutidas as características básicas, vantagens e desvantagens da utilização do *layout* celular em um ambiente de manufatura. Na implantação efetiva deste *layout*, as vantagens devem ser efetivamente perseguidas pela equipe de trabalho, enquanto adotam-se medidas capazes de reduzir o impacto das potenciais desvantagens apontadas. Estes dois parâmetros de trabalho são básicos.

Além das vantagens e desvantagens apresentadas, Harmon e Peterson (1990) apresentam os chamados objetivos do *layout*. Estes são parâmetros que deveriam nortear o desenho, implantação e gerenciamento de qualquer tipo de *layout* fabril. Estes objetivos contribuem ativamente à rentabilidade da empresa, podendo estar incluídos em um esquema mais amplo, chamado estratégia de manufatura. Entre os objetivos do *layout* definidos pelos autores, cabe citar:

1. Organizar a fábrica em fábricas pequenas. Este conceito, a princípio originário do conceito de fábrica focalizada, pode também ser aplicado a células de manufatura. Em termos práticos, uma minifábrica pode ser composta de uma ou mais células de manufatura.
2. Localizar as áreas de recepção e expedição de materiais e os estoques próximos às áreas operacionais. Evitar a localização de escritórios nestas áreas.
3. Aproximar as áreas de usinagem e montagem de um mesmo produto, quando for o caso.
4. Localizar as áreas fornecedoras de componentes comuns (a várias células) em uma área central.
5. Minimizar o tamanho da fábrica e o espaço proporcionalmente ocupado pelos corredores.

O primeiro destes objetivos é uma das bases do paradigma que orienta a formação de células de manufatura. Os quatro seguintes são **regras fundamentais** que devem orientar o desenho das células de manufatura, na concepção do macroambiente, que compreende o conjunto das células, seu sentido de orientação, a localização dos setores auxiliares, etc.

Na determinação do *layout* intra-celular, deve-se verificar inicialmente o tipo de célula a ser implementado. Após, a localização das máquinas e pessoas dentro deste ambiente é realizada a partir de critérios técnicos - como o conceito de máquina-chave e de componente composto - e estéticos, o que significa a adequação de uma configuração específica para cada caso singular encontrado na prática. A apresentação de uma tipologia de células de manufatura e dos conceitos técnicos citados é o objetivo do restante deste capítulo.

3.2.2. Tipos de Células de Manufatura

A definição do *layout* de cada célula depende diretamente do tipo e quantidade de componentes físicos desta, como máquinas, equipamentos e meios de transporte existentes e, principalmente, do grau de automação e integração existente entre elas.

Em uma organização específica podem existir conjuntamente vários tipos de células de manufatura, definidas conforme as especificações do grupo de partes e entidades alocados a cada uma. Groover (1980) definiu uma tipologia básica para as células de manufatura, de acordo com os atributos citados no parágrafo anterior.

Segundo o autor, as células de manufatura podem ser divididas em:

1. Célula de uma máquina (*Single Machine Cell*), composta por apenas uma máquina de usinagem, mais o ferramental e dispositivos necessários à montagem ou acabamento das partes aí fabricadas (Fig.3.4.). Se aplica a produtos simples, compostos por um componente principal (usinado) e acessórios fornecidos externamente³.

2. Célula de máquinas agrupadas e transporte manual. Esta definição compreende células compostas por várias máquinas, capazes de processar um conjunto determinado de componentes ou produtos completos, sem, no entanto, possuir mecanismos automáticos de manuseio e transporte destas partes entre as máquinas ou com a área externa. Esta operação deve ser realizada pelos próprios operadores ou, em casos extremos, por um auxiliar dedicado a esta tarefa. A disposição ideal das máquinas é em "U" (Fig.3.4.), isto é, o fluxo dos materiais percorre a célula sempre no mesmo sentido, e a entrada e saída dos materiais se dá na mesma ponta, normalmente o lado do corredor principal. Esta disposição também facilita a movimentação dos operadores entre as máquinas (Monden, 1990).

3. Célula de máquinas agrupadas e transporte semi-integrado. A diferença entre esta e a anterior é que aqui a célula é provida de algum sistema automático (mecânico ou eletro-mecânico) de movimentação das partes entre uma e outra máquina. Se as partes processadas tiverem um fluxo semelhante,

³Externamente, neste caso, pode se referir tanto a fornecedores externos da empresa como a componentes usinados em outras células. Em termos de planejamento interno da célula em questão, não há diferença entre estas duas fontes.

este *layout* pode ser disposto em linha (Fig.3.4.), com um sistema de transporte retilíneo, passando por todas as máquinas, às vezes interligado a estas por estações de carga e descarga de material. No caso das partes processadas passarem pelas máquinas em seqüências diferentes, a célula vai exigir um *layout* em *loop*. (Fig.3.4.) Em todo o caso, a implantação de um sistema destes exige que, genericamente, os roteiros de fabricação das peças sejam semelhantes. Se isto não ocorrer, o sistema de movimentação terá de ser muito flexível, o que significa custos bem maiores em sua implantação. Além disto, mesmo com um sistema flexível, algumas peças inevitavelmente acabam percorrendo um caminho mais longo do que percorreriam se o transporte fosse manual.

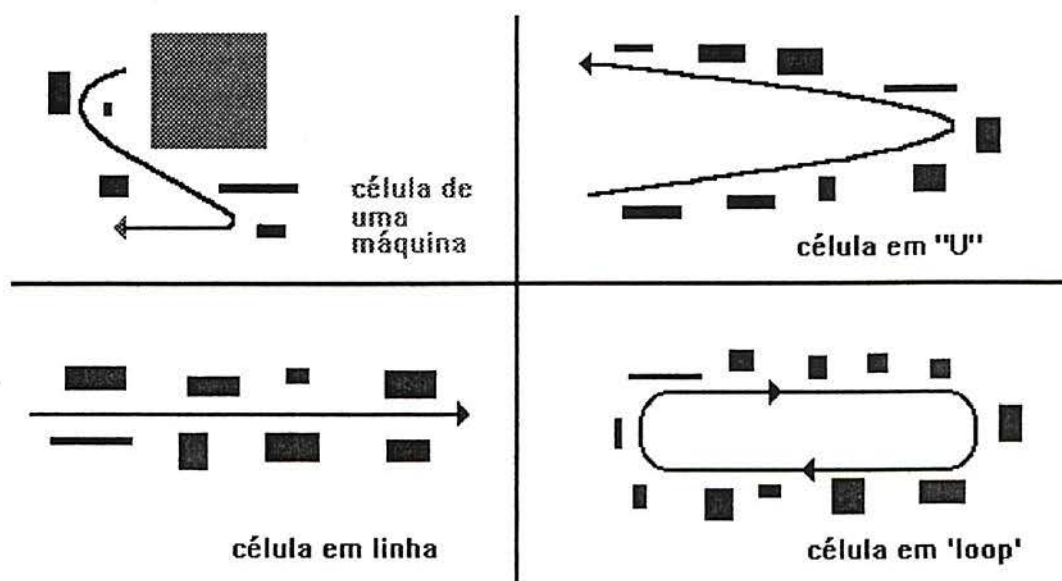


Fig. 3.4. Configurações básicas de células de manufatura.

4. Sistemas Flexíveis de Manufatura (*Flexible Manufacturing Systems - FMS*). Em termos de tecnologia agregada, este é o nível mais elevado das células de manufatura. Um FMS compreende três elementos básicos: estações de trabalho automatizadas e programáveis por controle numérico, sistema de movimentação autônomo e um sistema de controle da produção computadorizado (Lorini, 1993). A disposição das máquinas pode seguir qualquer uma das configurações apresentadas na fig 3.4. Este modelo não é envolvido pelo escopo deste trabalho, devido às suas particularidades e exigência de aprofundamento específico em seu estudo.

Há ocasiões em que todos os componentes de determinado produto são adquiridos fora da empresa, ou seu processo de usinagem não pode ser

localizado próximo à montagem. Neste caso, o *layout* deve ser desenhado apenas sobre as operações de montagem. A literatura revisada não especifica se uma linha em "U", sincronizada e balanceada conforme os objetivos de uma célula, poderia ser chamada de 'célula de montagem', ou se esta é ainda apenas uma 'linha de montagem'. Neste trabalho, o autor prefere considerar o primeiro conceito, definindo assim um quinto tipo de célula de manufatura, chamado "célula de montagem". Considera-se que, neste caso, a introdução dos conceitos de sincronização, integração, balanceamento e flexibilidade viabiliza a distinção entre os conceitos de 'linha' e 'célula' de montagem.

3.2.3. O Conceito de Componente Composto

Apesar de o desenho da célula ser uma atividade em grande parte artística, devido à variedade quase infinita de situações a serem abordadas, existem algumas técnicas ou conceitos capazes de direcionar e facilitar esta atividade. O conceito de componente composto é um destes casos.

O conceito de componente composto é derivado da própria definição lógica do que é uma família de partes agrupadas: um conjunto de elementos com atributos de manufatura, forma ou propriedade semelhantes. Este componente é uma peça hipotética que possui todas as diferentes características de manufatura ou físicas de uma determinada família (Groover, 1980). Para a manufatura de uma determinada parte, entre as que compuseram o componente composto, basta que se realize algumas entre a totalidade das operações necessárias à produção deste.

Desta forma, a célula pode ser desenhada como uma linha dedicada exclusivamente à fabricação do componente hipotético, o que torna mais simples e visual a tarefa de disposição das máquinas. O desenho do *layout* e a disposição das ferramentas pode ser feito de forma a garantir a minimização dos tempos de preparação entre as partes.

Segundo Gallagher e Knight (1986), este conceito é aplicável a componentes similares em termos de processo ou características físicas. O componente composto pode servir ainda como base para planos padronizados de trabalho e a procedimentos de planejamento da produção com o auxílio de computador.

3.2.4. O Conceito de Máquina-Chave

O conjunto de máquinas alocadas a uma mesma célula é, normalmente, diversificado. O grau de utilização e o custo fixo destas pode apresentar uma grande variação no espaço e no tempo. Normalmente, haverá em qualquer célula uma máquina mais cara que as demais.

O conceito tradicional de máquina-chave determina que, com vistas a minimizar o 'desperdício' de custos fixos alocados a uma célula, esta deveria ser organizada de forma a garantir que a máquina mais cara da célula esteja permanentemente ocupada. Esta é chamada 'máquina-chave', enquanto as demais são classificadas como 'máquinas de suporte' (Groover, 1980). O objetivo é organizar as 'máquinas de suporte' em torno da 'máquina chave' de forma a mantê-la permanentemente ocupada.

A máquina chave é operada ao máximo da capacidade, enquanto as outras têm seus fluxos de trabalho subordinados. Além disto, o pessoal alocado a estas é flexibilizado (Gallagher e Knight, 1986).

Em termos de adaptação conveniente deste conceito à teoria das restrições, que advoga a utilização máxima não da máquina mais cara, mas de menor capacidade, basta assumir o parâmetro 'tempo de processamento' como o determinante da máquina chave.

Os conceitos de componente composto e máquina chave são duas técnicas úteis no trabalho de definição do *layout* celular, atividade que envolve a disposição adequada das máquinas, ferramentas, pessoas e materiais num espaço físico delimitado.

3.3. Conclusão

O nível de desenvolvimento da Tecnologia de Grupo enquanto técnica, em termos dos métodos para a formação e ajuste das famílias de componentes e máquinas, e para a transposição destas para as células de manufatura, é muito grande. Novas propostas surgem constantemente, com o objetivo de solucionarem problemas mais extensos ou com um maior número de variáveis ou simplesmente resolverem os mesmos problemas já apresentados em estudos anteriores de uma maneira mais eficiente e eficaz.

Um dos principais desafios que se coloca à frente dos analistas que, na prática, são os reais usuários de todo este volume teórico, consiste na escolha acertada do conjunto de métodos mais adequados ao seu problema específico. Dado o nível crescente de métodos disponíveis, esta escolha exige um esforço razoável a ser dispendido no aprendizado e análise crítica destas técnicas. Por outro lado, é possível afirmar que, realizada uma boa escolha e um bom aprendizado das técnicas escolhidas, a probabilidade de sucesso no trabalho de formação de famílias será sempre muito alta.

Capítulo 4

Uma Metodologia para a Implantação de Células de Manufatura

4.1. Introdução

Para a implantação satisfatória de células de manufatura em um ambiente industrial, não basta o conhecimento das técnicas de formação de famílias e de desenho do *layout* celular. Estes são indispensáveis, é claro. No entanto, o ambiente fabril é composto por uma série de outros fatores que, embora não sejam questionados em grande parte dos estudos de tecnologia de grupo, interferem fortemente nos resultados de sua aplicação.

A implantação da manufatura celular é uma atividade muitas vezes complexa, que exige o envolvimento e participação de várias pessoas, pertencentes a diversas áreas da empresa. Sua execução se dá através de um projeto, que é elaborado por parte destas pessoas e aceito e compreendido por todos. A tarefa é complexa tanto do ponto de vista tecnológico como pelos aspectos referentes à cultura técnica da organização, ensejando a necessidade de esforço concentrado também no desenvolvimento de atitudes 'humanas' como envolvimento, motivação e treinamento de um conjunto razoável de pessoas.

Devido a esta complexidade, o projeto deve ser bem planejado e dirigido. Para a realização desta atividade, a utilização de uma metodologia

prescritiva capaz de orientar minimamente sobre as atividades e a seqüência das principais etapas a serem seguidas pela equipe do projeto pode ser muito valiosa. Naturalmente, como em qualquer caso prático, o sucesso na utilização de uma metodologia prescritiva consiste na habilidade que se possa ter no sentido de adaptação desta - que é genérica - ao caso particular.

Desta forma, a metodologia aqui apresentada, desenvolvida a partir da revisão de diversos estudos teóricos e de experiência prática, deve ser encarada como um guia genérico, uma orientação capaz de subsidiar a implantação de células de manufatura em ambientes industriais. Em termos práticos, para cada passo específico podem e devem ser feitas adaptações ao modelo, tornando-o mais conveniente ao caso particular.

4.2. O Modelo Básico

O modelo é composto por 3 fases principais:

1. Preparação
2. Definição
3. Implantação

A primeira fase consiste no estudo do caso e na 'limpeza do terreno'. É uma fase que visa definir a equipe e área física de atuação, envolver e preparar as pessoas, avaliar as principais características da empresa e caracterizar o tipo de célula que se deseja implementar.

A segunda fase refere-se à escolha e aplicação das técnicas de formação de famílias, desenho da célula e balanceamento das linhas. É a fase da execução do método teórico propriamente dito, num ambiente previamente preparado.

A terceira fase consiste na implementação, gerenciamento e avaliação do novo *layout*. É normalmente a fase mais longa, mesmo que se exclua a etapa do gerenciamento, que não tem, naturalmente, prazo para terminar. Nesta fase, é normalmente testada a capacidade e vontade da empresa em se reorganizar. As fases anteriores devem ter sido conduzidas de forma a suavizar as restrições normalmente encontradas nesta, que é a fase crítica do projeto.

O modelo é apresentado de uma forma estritamente seqüencial. As diversas etapas que compõem a metodologia podem, em alguns momentos, serem realizadas em paralelo, conforme as necessidades do usuário. No entanto, é preciso frisar que o início de uma etapa específica deve sempre preceder o início da fase subsequente, dado que sempre os resultados - totais ou parciais - das etapas anteriores são necessários ao desenvolvimento das etapas posteriores respectivas.

Em termos de *feed-back*, há duas fases que podem ser revistas ou, até, completamente refeitas, caso a subsequente apresente dificuldades em sua execução ou resultados que levem a isto: em primeiro, a definição da área piloto, que pode ser revista, caso os parâmetros existentes no chão de fábrica verificados na aplicação das técnicas de apoio sejam muito ruins em termos de introdução da manufatura celular nesta área; em segundo, a escolha das técnicas de tecnologia de grupo, que pode ser refeita, caso os dados coletados não sejam realmente adequados para a execução das técnicas que originalmente se pretendia utilizar.

O restante deste capítulo será dedicado ao detalhamento das diversas atividades existentes nestas fases, apresentadas na figura 4.1.

4.3. A Fase de Preparação

A fase inicial de um projeto de implementação de novas tecnologias de manufatura deve normalmente ser dedicada ao estudo do ambiente no qual se pretende realizar esta implementação. Os principais aspectos técnicos e organizacionais devem ser compreendidos, a fim de diminuir inevitáveis problemas futuros como a resistência à continuidade do projeto, incompatibilidade técnica ou problemas de ordem política dentro da empresa. Alguns autores têm se dedicado ao estudo de técnicas de implementação de tecnologias de manufatura levando em consideração aspectos culturais da empresa, como Beatty (1992); Levi, Slem e Young (1992); Saraph e Sebastian (1992) e Maschrzak e Gasser (1992). A partir destes trabalhos pode-se empreender um estudo mais aprofundado em relação a estes aspectos, os quais serão apresentados aqui de forma sucinta.

Além do estudo do ambiente, a formação e treinamento da equipe e a definição da área de atuação piloto, entre outras, são atividades que devem ser realizadas nesta fase. Ao todo, a fase de preparação é composta por 5 etapas:

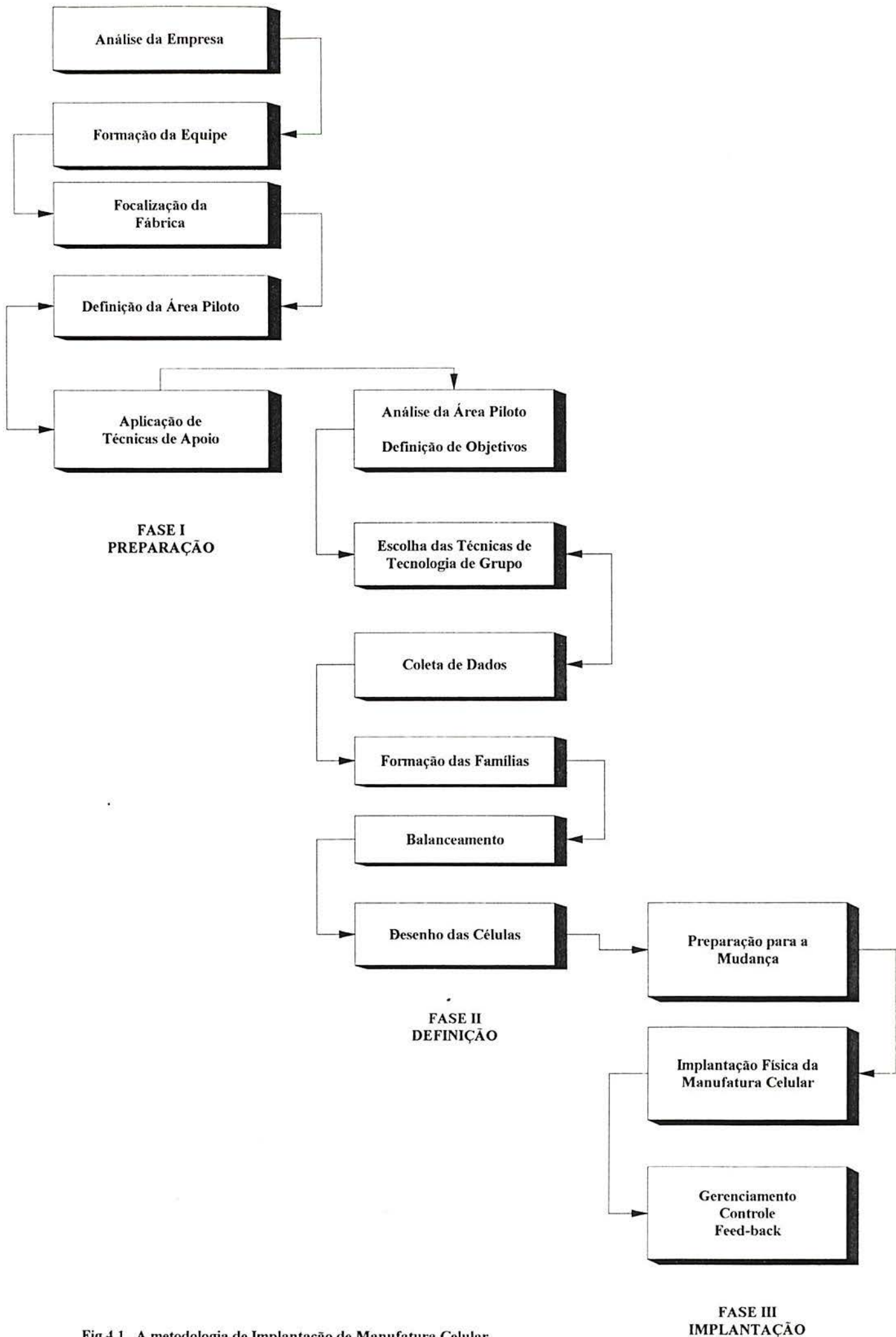


Fig.4.1. A metodologia de Implantação de Manufatura Celular

1. Análise da empresa;
2. Formação da equipe;
3. Focalização da fábrica;
4. Definição da área piloto;
5. Aplicação de técnicas de apoio.

4.3.1. A Análise da Empresa

A análise da empresa, que pode ser realizada de maneira objetiva, através de um *check-list*, tem como objetivo principal dar aos analistas, especialmente se forem externos à organização, uma noção mais detalhada do ambiente no qual vai ser realizado o trabalho. Como foi dito, as questões versam basicamente sobre dois aspectos: a estrutura tecnológica da empresa e a cultura técnica existente em torno desta tecnologia.

Do ponto de vista tecnológico, há uma série de questões a serem respondidas direta ou indiretamente no início do projeto, dentre as quais pode-se citar:

- Quais são os produtos e componentes fabricados pela empresa? Quais são as suas dimensões, propriedades e composição?
- Qual é o volume de produção? Qual é a diversidade de produtos e componentes? Qual é o grau de similaridade estimado entre os produtos e máquinas?
- Quais são as atuais margens de contribuição, tempos de processamento, tempos de preparação, *lead-times*, inventários, área disponível e alocada, número de funcionários diretos e indiretos? Quais são os gargalos?
- Qual é o maquinário instalado? Quais são as dimensões e facilidade de movimentação destes? Existem monumentos⁴? Quais são os tipos de instalação exigidos (energia, água, ar, etc.)? Qual é o atual grau de automação da fábrica?

⁴"Monumento" é um dos nomes que se dá para definir máquinas e equipamentos que, por razões como tamanho, instalações ou outra qualquer, exigem um investimento muito grande para sua remoção ou deslocamento nas dependências da fábrica.

- Qual é o grau de participação de cada produto no faturamento, volume de produção e lucratividade da empresa?
- Que outras tecnologias de manufatura foram recentemente implementadas? Qual foi o grau de sucesso de cada uma? Como é o atual sistema de planejamento e controle da produção?

O que se precisa ter em mente, neste ponto, é a necessidade de obtenção de dados capazes de subsidiar a compreensão e a modelagem do sistema produtivo. Estes também podem ajudar na definição da própria adequabilidade da implantação de células de manufatura e do grau de automação associado a estas. Destas respostas dependem, além disto, as outras etapas da fase de preparação.

Igualmente importantes são as questões referentes à cultura técnica da empresa, como:

- Qual é o grau de motivação e envolvimento dos funcionários quanto a: 1) rotinas diárias de trabalho e 2) projetos de melhorias envolvendo novas tecnologias de manufatura, como a manufatura celular?
- Quais são os resultados obtidos e o histórico de outros projetos de implantação?
- Qual é o grau de instrução dos funcionários? Qual é o padrão salarial? Qual é a política de treinamento da empresa? Quais são os benefícios sociais existentes? Existe plano de carreira? De que tipo é a atuação do sindicato?
- Qual é o histórico da participação dos funcionários em decisões da empresa? Qual é o histórico de greves e negociações? Quais são os meios formais e informais de comunicação vertical e horizontal?
- Qual é o grau de interesse e envolvimento esperados da alta e média gerências no presente projeto, e qual foi este no passado?
- Qual é o nível atual de conhecimento e entendimento dos objetivos e funcionamento da manufatura celular em cada um dos três níveis da empresa?

- Quais são os impactos esperados da mudança do *layout* em termos de benefícios pessoais, melhorias nas condições de trabalho, envolvimento e motivação, ritmo de trabalho? (Levi, Slem e Young, 1992)

Os trabalhos citados anteriormente podem ajudar na compreensão e enriquecimento destas questões. O objetivo central é permitir que se estime o comportamento das pessoas em relação ao projeto, baseando-se nos possíveis benefícios e interferências que este pode gerar em seu ambiente de trabalho.

Em resumo, esta primeira etapa destina-se ao estudo do ambiente no qual o projeto será implantado. Este conhecimento é essencial para o sucesso das próximas etapas e da manufatura celular como um todo.

4.3.2. A Formação da Equipe

Após o estudo do ambiente, o trabalho passa para uma etapa de envolvimento das pessoas relacionadas ao projeto - decisores, técnicos, funcionários operacionais, gerentes - além da formação de uma equipe de trabalho na empresa dedicada à execução do projeto⁵. A decisão e interesse da gerência da empresa no sentido da efetiva reformulação do *layout* é condição essencial ao prosseguimento deste trabalho.

Pode-se identificar, no ambiente da empresa, três grupos distintos, cujo envolvimento deve ser buscado através de estratégia distinta. O primeiro grupo é constituído pelos **financiadores** do projeto: a alta e média gerência da empresa. O segundo grupo é formado pelos indivíduos cuja rotina de trabalho será diretamente alterada após a alteração no *layout*: os trabalhadores diretos e, conforme o caso, indiretos da área de produção. O terceiro grupo é constituído pelos **executores** do projeto: as equipes multifuncionais constituídas especificamente para a elaboração e implantação das células de manufatura. Estas equipes podem ser divididas em duas partes: o staff 'fixo', que estará presente na implantação do *layout* em todas as áreas e a força-tarefa específica de cada área, constituída por pessoal aí localizado. Ao longo deste capítulo, estas duas partes, salvo indicação em contrário, serão referenciadas como uma só.

⁵Nesta etapa, assim como na anterior e posteriores, os aspectos humanos pertinentes às atividades são numerosos. Este estudo não tem como objetivo esgotar a discussão sobre estes aspectos, propondo-se à definição de alguns, considerados fundamentais.

O envolvimento das pessoas deve ser buscado através de diferentes estratégias, dependendo do grupo alvo. Aos tomadores de decisão (média e alta gerências) é necessário que se explique, através de reuniões ou seminários, a origem e os objetivos da manufatura celular e seu enquadramento na estratégia global da empresa. Os meios técnicos referentes à sua implementação e gerenciamento e a descrição de seu modo de operação também são aspectos importantes. A gerência deve estar comprometida com as mudanças, dado que seu apoio e envolvimento são fundamentais ao sucesso do projeto.

No caso específico da Tecnologia de Grupo, Burbidge, Falster e Riis (1991) enumeram as principais justificativas dadas pela gerência de empresas para a não adoção de uma solução 'organizacional' como a Tecnologia de Grupo ou o *Just-in-Time*, ao contrário do ocorrido com técnicas de maior base de automação. Estas justificativas podem ser separadas em três tipos:

1. Baseadas em incapacidade: tentativas anteriores frustradas, baixa capacitação da mão-de-obra, inexistência de treinamento ou incapacidade financeira de suportar o projeto;
2. Baseadas em preconceito: a empresa 'não se adapta ao caso específico'; Tecnologia de Grupo é um conceito obsoleto ou suplantado por MRP, CIM, etc.;
3. Baseadas no medo: inadaptabilidade dos produtos atuais, falta de tempo para a mudança, satisfação com o sistema atual, etc.

Segundo Burbidge, estes são os principais motivos alegados pelos gerentes das empresas para a não utilização de uma técnica de reorganização do sistema fabril. Estas restrições são facilmente encontráveis em casos reais; por esta razão, a "venda" do projeto e o envolvimento da empresa são fundamentais.

Nesta fase, o envolvimento do pessoal operacional não é ainda um aspecto tão crítico como o da gerência; isto ocorre nas fases de desenho e implantação efetiva da célula. Maschrzac e Gasser (1992), Sevier (1992) e Levi, Slem e Young (1992) definiram uma série de aspectos a serem considerados no que concerne à mão-de-obra operacional, de modo a facilitar o envolvimento e apoio destas pessoas. Segundo Sevier (1992), no que se

refere ao *Just-in-Time*, por exemplo, "o escopo dos problemas que levam à decisão de implementar o *Just-in-Time* são frequentemente muito divergentes das ansiedades e receios dos empregados individualmente". Desta forma, é preciso que se crie uma "atmosfera" para a implantação destas técnicas.

Esta "atmosfera" compreende a aceitação e o entendimento, no início do projeto, da filosofia da manufatura celular, da participação dos empregados durante e após a execução do projeto e dos benefícios que ele pode trazer à empresa e aos indivíduos. Isto pode ser obtido com treinamento, visitas a empresas que reformularam seu *layout* e obtiveram bons resultados, conversas informais, reuniões de trabalho e formação de líderes. As características do ambiente, como número de empregados, qualificação, motivação, entre outros aspectos (citados no item 4.3.1.), vão servir à definição do tipo de atividades a serem desenvolvidas.

O terceiro grupo, a equipe multifuncional que participará ativamente do projeto, exige uma estratégia de maior aprofundamento e continuidade no repasse da teoria e das técnicas referentes à tecnologia de grupo e manufatura celular. Além das características necessárias aos outros grupos - envolvimento, motivação, aceitação - este pessoal deve estar realmente capacitado a realizar o projeto. Beatty (1992), além de frisar a necessidade de uma equipe realmente multifuncional como forma de reduzir os conflitos, aponta a necessidade de trabalhar no sentido da integração sistêmica da manufatura celular ao escopo estratégico da firma. Além disto, este grupo deve ter apontado um líder, um 'campeão de tecnologia', identificado com o projeto a ponto de ter confundida com ele sua própria imagem pessoal. Este líder deve ser o implementador, o estrategista e o solucionador de problemas. O sucesso na definição do líder é um dos pontos críticos do projeto.

A equipe de trabalho multifuncional deveria funcionar como força-tarefa (Hay, 1992). No caso de uma equipe voltada à reformulação do *layout* industrial, seria importante que ao menos um supervisor da área, um técnico responsável pelas instalações e um encarregado de PCP fizessem parte desta equipe. Em algumas fases do projeto ao menos, a participação do gerente de produção também é interessante.

A estratégia para o terceiro grupo reside, portanto, no tripé "treinamento avançado - reuniões de trabalho - criação de uma hierarquia amplamente aceita". O grupo multifuncional deve sentir-se responsável pelo sucesso do

projeto, e a diretoria deve conceder-lhe a autoridade correspondente a esta responsabilidade.

É difícil prescrever um método completo de envolvimento, motivação e engajamento destes 3 grupos. No entanto, estas 'regras' são o mínimo que se pode apresentar na tentativa de solucionar este problema. As habilidades humanas, no entanto, dependem, em muitos casos, muito mais da experiência, honestidade e bom senso dos condutores do grupo do que de prescrições estabelecidas na literatura.

4.3.3. A Focalização da Fábrica

Burbidge (1971) enumera como um dos postulados do seu método, *Production Flow Analysis*, que "é impossível encontrar a ótima divisão em grupos e famílias (do conjunto dos componentes e máquinas da firma), a menos que o sistema de fluxo de materiais inter-departamental tenha sido primeiramente simplificado." Isto se aplica a qualquer técnica de Tecnologia de Grupo. Um conjunto muito grande de produtos, componentes e máquinas diferentes torna muito dispendioso, lento ou ineficiente o processo de formação de famílias através da maioria destas técnicas. Por esta razão, e também pela necessidade posteriormente apresentada da aplicação inicial da manufatura celular em uma área piloto (o que exige, preliminarmente, uma identificação do conjunto de áreas do qual uma será escolhida), torna-se necessário, a partir de determinada complexidade, uma subdivisão, uma focalização inicial da fábrica em fábricas menores.

O debate sobre a adequabilidade ou não da focalização de alguns tipos de ambientes industriais parece manter-se ainda vivo. Skinner (1974) aponta as razões e a maneira correta de se focalizar a fábrica, de acordo com as necessidades estratégicas a serem cumpridas pelo sistema produtivo. Segundo o autor, a fábrica focalizada tem a possibilidade de diminuir a incidência de problemas, como a incompatibilidade de estratégias entre as diversas áreas da fábrica, a incapacidade de atendimento rápido a novas demandas e a crescente complexidade gerada a partir do surgimento de novos produtos com um grau cada vez maior de diferenciações e ciclos de vida cada vez mais curtos. A fábrica focalizada pode, por fim, reduzir custos através da especialização⁶.

⁶Esta redução de custos é gerada através de economias de *escopo*, ao contrário do modelo tradicional de economias de *escala*. Uma discussão sobre estes modelos pode ser encontrada em Goldhar e Jelinek (1983).

Gerwin (1993) apresenta algumas críticas à fábrica focalizada. Segundo o autor, este modelo pode apresentar desvantagens como o uso ineficiente de recursos - gerados pela ociosidade e muitas vezes duplicidade destes nas diversas 'sub-fábricas' - e a baixa flexibilidade de mix (redução no número de opções de negócio), gerada pela pequena diversidade de produtos existente a nível de sub-fábrica.

Baseando-se nestas idéias, questiona-se qual o nível de focalização a ser adotado, então, em um problema de redefinição de *layout*, a fim de ser resolvido o problema levantado por Burbidge. Inicialmente, a focalização da fábrica deve ser, ao menos, 'simulada' ou definida 'no papel'. O objetivo nesta etapa é o de simplificar esquematicamente o fluxo de materiais, definindo-se assim um conjunto de áreas com grandes coeficientes de similaridade internos e baixa interação externa, possibilitando-se a análise individualizada de cada uma destas áreas, a formulação de um plano global de trabalho e a escolha da área piloto. Se a focalização efetiva da fábrica, através da implantação de procedimentos administrativos e operacionais específicos, for considerada interessante, a implantação da manufatura celular pode considerar também este parâmetro.

O objetivo da focalização, no caso da utilização de técnicas de Tecnologia de Grupo para a formação de células de manufatura, é o de simplificar, a grosso modo, o sistema de relações da fábrica para que este possa ser analisado e reorganizado. Se a focalização efetiva da fábrica for interessante, esta atividade poderá ser realizada paralelamente à implantação da manufatura celular. Sobre este aspecto, sabe-se que tanto a manufatura celular como a fabricação focalizada são modelos produtivos aplicáveis a configurações semelhantes - média diversidade de artigos e lotes de produção médios - além de possuírem características operacionais semelhantes, como utilização de economias de escopo, simplificação e flexibilidades de mix e de entrega. Desta forma, pode-se estimar que a aplicação dos dois conceitos em conjunto será interessante na maioria das ocasiões.

4.3.4. A Definição da Área Piloto

A implantação da manufatura celular em uma empresa de médio ou grande porte não pode, naturalmente, ser realizada de uma só vez. Os custos da mudança, a quantidade de detalhes a serem considerados, o número de pessoas envolvidas e o risco associado à implantação de qualquer tecnologia

de manufatura são restrições que justificam a introdução da manufatura celular em etapas, iniciando-se por uma área piloto. Além disto, a reformulação do *layout* na área piloto é importante do ponto de vista do aprendizado que se pode obter nesta parte do projeto, evitando-se que eventuais erros cometidos repitam-se no resto da firma. Finalmente, o 'efeito demonstração' de uma célula já em funcionamento no interior da empresa pode ser útil no sentido de motivar as pessoas a estender este sistema às suas áreas de trabalho.

Os critérios para a escolha da área piloto são variados. De acordo com as necessidades e características do projeto, podem ser utilizados critérios como:

- Lucratividade da área em relação ao total;
- Volume de produção;
- Diversidade de máquinas e componentes;
- Risco associado ao projeto;
- Qualificação e envolvimento do pessoal;
- Grau de interferência da área nos diversos outros fluxos produtivos.

Harmon e Peterson (1990) defendem a escolha da área de maior participação no lucro da empresa. Segundo os autores, a área de maior valor é aquela em que mudanças geradas pela manufatura celular podem render mais. Isto é verdade, desde que esta grande geração de lucro não seja consequência de um eventual bom grau de ajuste já existente no sistema de produção lá utilizado, o que pode dar pouca margem de ganho, em comparação às outras áreas, pela introdução do *layout* celular. Os autores não consideram esta hipótese.

Ainda segundo estes autores, do ponto de vista da gerência, um impacto inicial favorável sobre o lucro pode ser decisivo, em termos de compensar o risco que ela sente estar correndo com o projeto o qual, graças ao desconhecimento, é normalmente maior do que aquele efetivamente existente. A questão chave, segundo os autores, é: qual o conjunto de produtos ou de componentes de maior valor para a empresa?

A área piloto normalmente refere-se a um processo específico de montagem, podendo ou não incluir a fabricação, de uma determinada família de produtos ou componentes. Às vezes o projeto pode incluir as áreas de armazenagem e manutenção, se estas forem ou estiverem sendo focalizadas.

Além do aspecto de lucratividade, os autores citam outros aspectos críticos a serem considerados na escolha da área piloto, como:

- Interesse do supervisor ou gerente da área;
- Prioridades da gerência;
- Esforço necessário para reformulação do *layout* da área;
- Planos já existentes de automação ou reorganização;
- Custo da mudança.

A consideração conjunta destes critérios e dos anteriormente citados pode levar à determinação não só da melhor área piloto como da seqüência geral planejada da implantação da manufatura celular em outras áreas da empresa. O sucesso na escolha da área piloto pode significar, em muitos casos, o sucesso do projeto como um todo.

4.3.5. A Aplicação de Técnicas de Apoio

Apesar do fato de, na maioria dos estudos dedicados à manufatura celular e tecnologia de grupo, estas serem tratadas individualmente no contexto da manufatura, sabe-se que, em muitos casos, elas estão inseridas em um contexto maior, em uma filosofia de produção voltada não só à produtividade e qualidade, mas também à flexibilidade e inovabilidade. Este conceito multi-dimensional da manufatura começou a tomar consistência, em termos internacionais, nas décadas de 60 e 70 quando, nos Estados Unidos, foi definido o conceito de "Estratégia de Produção" e, no Japão, iniciaram-se as aplicações em grande escala do sistema de produção *Just-in-Time*, ou "Modelo Toyota de Produção" (Monden, 1990).

Por estar inserida em um contexto amplo, a aplicação satisfatória da manufatura celular normalmente exige a introdução, na estrutura fabril, de outras técnicas de reorganização e melhoria do sistema produtivo. A redução nos tempos de preparação das máquinas alocadas na célula, com vistas a torná-las capazes de operar com lotes menores e melhor sincronizados e a padronização de componentes, dispositivos e procedimentos, de forma a reduzir a variabilidade do sistema, são exemplos de atividades que, se não são indispensáveis, contribuem fortemente para o bom desempenho e sucesso da manufatura celular. A formação de sistemas participativos de trabalho em pequenos grupos (APGs) e a formação de mão-de-obra polivalente no contexto

das células são técnicas também pertinentes ao modelo Toyota que podem ser introduzidas antecipadamente à reorganização do *layout*.

Deve-se frisar que não existe um nível determinado de padronização ou um tempo máximo de troca de ferramentas a partir do qual se possa garantir o sucesso ou fracasso da manufatura celular, após implementada. Normalmente, quanto melhores forem estes indicadores, mais simples, integrado e flexível será o *layout* final. Cabe à equipe de implantação determinar os níveis de padronização, envolvimento e capacitação da mão-de-obra e de tempos de preparação capazes de viabilizar tecnicamente cada célula.

Uma das técnicas mais úteis para a verificação posterior da adequabilidade destes níveis é a simulação do novo sistema, que pode ser realizada logo após o desenho do novo *layout*. Se os níveis verificados neste momento forem inferiores ao ideais, estas técnicas devem ser novamente trabalhadas a nível operacional, antes que se realize a efetiva implantação do novo *layout*.

4.4. A Fase de Definição

Após a análise e definição do problema, o projeto pode partir para a fase de formação das famílias, balanceamento e desenho das células. Esta é a fase de definição, onde serão arranjados os grupos de componentes e máquinas constantes em cada célula e o desenho do novo *layout*.

Esta fase é a que exige maior conhecimento técnico - de Tecnologia de Grupo - por parte da equipe. Por outro lado, os componentes culturais não são tão críticos como na primeira e terceira fases. As principais técnicas existentes voltadas à formação de famílias e desenho das células foram apresentada no Capítulo 3. A equipe deverá se concentrar na escolha das técnicas mais atraentes para o seu caso específico, no estudo aprofundado destas (para o qual foi indicada bibliografia auxiliar) e na sua execução criteriosa. Esta fase também serve para a avaliação mais precisa do estado de motivação e envolvimento reinante entre as pessoas envolvidas no projeto.

Normalmente, os custos futuros advindos de erros nesta fase de definição do novo *layout* são potencialmente significativos. Por esta razão, a efetiva implantação das células de manufatura deve ser precedida por um

consenso entre o grupo e as demais pessoas envolvidas de que têm em mãos uma proposta viável, melhor que o sistema anterior e próxima ao ótimo.

A fase de definição é composta por 6 etapas:

1. Análise da área piloto. Definição dos objetivos.
2. Escolha das técnicas de Tecnologia de Grupo.
3. Coleta de dados.
4. Formação das famílias.
5. Balanceamento das células.
6. Desenho das células.

Dentro do objetivo de envolvimento das pessoas, é igualmente fundamental que seja realizada paralelamente a comunicação e discussão, com todos os interessados, dos resultados parcialmente alcançados nas diversas etapas.

4.4.1. Análise da Área Piloto

O estudo detalhado da área piloto, antes da etapa de coleta de dados, tem por objetivo fornecer subsídios a três definições: o tipo de *layout* celular a ser implementado, as técnicas de formação de famílias a serem utilizadas e uma estimativa das metas que se pretende atingir após a reorganização do *layout*.

A quantidade de máquinas existentes na área piloto, o grau de balanceamento e a similaridade entre os roteiros de produção dos componentes existentes são dados que vão auxiliar na determinação inicial do tipo de células que poderão ser implementadas. A quantidade efetiva de células implementadas na área piloto e o tipo de *layout* de cada uma deverão ser decididas, no entanto, após a formação das famílias.

O grau atual e futuro de automação da área é outra informação fundamental. Dependendo da concentração das atividades em sistemas manuais ou automatizados, o enfoque sobre a reorganização, a construção de cada célula e o envolvimento do pessoal deve ser adaptado. Se o objetivo da introdução da manufatura celular é o de servir de base para um sistema FMS,

por exemplo, o grau de integração entre as partes e de automação deve ser muito maior do que se estiver tratando-se de células manuais autônomas. Ainda no mesmo exemplo, se o grau atual de automação das atividades de usinagem, montagem, transporte e/ou monitoramento do sistema forem altos, os custos envolvidos com a reorganização serão provavelmente altos. Quanto maior o grau de automação, também mais importante será o acerto na determinação das células de manufatura. Neste caso, o processo de formação de famílias deverá ser mais criterioso e envolver um número razoável de variáveis. Observações como estas devem ser realizadas já no início do trabalho.

Um aspecto fundamental nesta etapa é também o da quantificação das metas - objetivos locais - a serem atingidas. Destas pode depender o apoio da direção da empresa no sentido de liberação dos recursos necessários à continuidade do processo de reorganização. Objetivos normalmente buscados através da introdução da manufatura celular são, entre outros:

- Redução nos estoques intermediários;
- Redução na área ocupada;
- Redução no *leadtime*;
- Redução no tamanho dos lotes;
- Redução no contingente de mão-de-obra direta e indireta;
- Redução nos tempos e custos de movimentações;
- Aumento de produtividade: peças/hora, peças/homem, margens de lucro;
- Redução dos refugos e retrabalhos.
- Ganhos de qualidade.

Além destes, podem ser indicados outros objetivos, não diretamente quantificáveis, como:

- Flexibilização do *mix* de produção, definida como a capacidade de um sistema de alterar o conjunto de itens que estão sendo produzidos em dado período de tempo (Slack, 1988);
- Flexibilização da entrega, definida como a capacidade de um sistema de alterar datas de entrega anteriormente assumidas ou planejadas (Slack, 1988);

- Envolvimento da mão-de-obra;
- Simplificação do planejamento e controle da produção;
- Sincronização e balanceamento do fluxo de trabalho.

Além do objetivo de justificar aos tomadores de decisão e pessoas envolvidas a viabilidade do trabalho, a estimativa inicial de ganhos deve servir como parâmetro de avaliação dos resultados obtidos ao final do projeto. Quanto à justificação do projeto, os objetivos podem ser apresentados, embora não quantificados, já durante as primeiras etapas da fase de preparação do projeto. Caberia à etapa final, então, a efetiva confirmação destes, através de sua mensuração em termos de custos, unidades e/ou tempo.

Por fim, devem ser coletados dados capazes de balizar a escolha das técnicas de formação de famílias a serem utilizadas. Estes foram apresentadas na seção 3.11. O processo de escolha a partir destes parâmetros será discutido a seguir.

4.4.2. A Escolha das Técnicas de Tecnologia de Grupo

A diversidade de técnicas de TG voltadas à definição de famílias de peças e máquinas, como foi apresentado, é grande. Os métodos têm sido desenvolvidos e melhorados a partir de dois objetivos principais: (i) a resolução de problemas já definidos de forma mais eficiente que abordagens anteriores ou (ii) a capacidade de lidar com problemas mais extensos ou que envolvam um número maior de variáveis que os métodos originais.

Dos diversos métodos apresentados no capítulo anterior, os cinco tipos mais comumente citados na literatura, em termos de utilização em situações práticas são:

1. Análise Visual;
2. Classificação e Codificação;
3. Coeficientes de Similaridade;
4. Arranjos de Matrizes; e
5. Programação Matemática.

A escolha de um ou mais destes tipos, e ainda, da técnica específica dentro de cada tipo para a resolução do problema proposto, deveria se basear

em parâmetros objetivos e definidos, como os apresentados no final do capítulo 3. Em termos práticos, esta decisão deveria ser precedida de uma verificação de pelo menos 7 pontos específicos:

- A diversidade de componentes e máquinas existente na área piloto;
- A acurácia dos dados existentes relativos aos roteiros de produção ou às características dos componentes analisados;
- O objetivo do agrupamento: formação de famílias de peças, famílias de máquinas ou famílias de peças e máquinas simultaneamente;
- O volume de recursos financeiros disponíveis para esta etapa;
- O grau de eficiência desejado do método, ou seja, o nível de acurácia do agrupamento em relação ao tempo e custo despendidos em sua execução;
- O nível de decisão ou interferência direta das pessoas durante a execução da técnica;
- Os recursos computacionais disponíveis.

O cruzamento destas variáveis (tipos de métodos e parâmetros de escolha) é o que vai determinar a escolha do método mais adequado. A nível básico, pode-se sugerir a seguinte matriz de adequabilidade:

Parâmetro	Método	Análise Visual	Classif. Codif.	Coef. Similar	Arranjo Matrizes	Progr. Matem.
Diversidade	Baixa	X		X		X
	Alta		X		X	
Acuracidade	Baixa	X				
	Alta		X	X	X	X
Agrupamento Desejado	Peças	X	X	X		X
	Máquinas			X		X
	Simultâneo				X	X
Custo	Baixo	X		X	X	
	Alto		X			X
Eficiência	Baixa	X				
	Alta		X	X	X	X
Decisão Pessoal	Baixa		X			X
	Média			X	X	
	Alta	X				
Computação	Desnecessária	X				
	Necessária		X	X	X	X

Tabela 4.4.2: Parâmetros de escolha dos principais métodos de agrupamento.

Conforme discutido anteriormente, os métodos de análise visual são executados manualmente, razão pela qual aplicam-se a quadros de baixa diversidade de componentes. Normalmente, seu custo de utilização é baixo, assim como sua eficiência, por dependerem freqüentemente de critérios subjetivos. Só podem ser utilizados para a formação de famílias de peças. Dependem pouco de dados já existentes, não exigindo-lhes precisão. Finalmente, por serem manuais, dispensam o uso de computador, exigindo a intensa participação, análise e decisão humana.

Os sistemas de classificação e codificação normalmente são adequados a aplicações diversas, como projeto de produtos e PCP. No caso da manufatura celular, o alto custo de aplicação deste método pode inviabilizar seu uso exclusivo a esta aplicação. Nos casos em que um sistema destes já se encontra desenvolvido, ou terá uso em outras aplicações, este pode resolver o problema do *layout* eficientemente. Os sistemas atuais são adequados apenas à formação de famílias de peças. A acuracidade dos dados é fundamental. A diversidade dos componentes classificados pode e deve ser alta, para justificar o custo do sistema. Após a definição do sistema a ser utilizado e do significado dos dígitos do código - nos sistemas customizados - a interferência humana na tomada de decisão é dispensada, bastando a tarefa de rotular cada componente com um código que se adapte objetivamente às suas características. Para grandes bases de dados, a utilização de um meio computacional é indispensável.

A utilização de coeficientes de similaridade, ao contrário, é mais adequada para baixas diversidades. Isto se deve à dificuldade de interpretação e da própria construção de dendogramas que possam representar coerentemente um grande número de interrelações entre estes componentes. Na técnica chamada Algoritmo de Ligação Única (ALU), basta uma simples ligação de um componente externo com um dos componentes já alocados a um grupo para que o externo se ligue a todo o grupo, como se este tivesse o mesmo grau de semelhança com todos os componentes restantes. No Algoritmo de Ligação Múltipla (ALM), é necessário que o componente externo apresente um grau mínimo de semelhança com todos os componentes do grupo para que possa pertencer a este, o que acaba ligando grande parte dos componentes no nível de similaridade zero, gerando um grande número de grupos. Estes problemas são administráveis em pequenos grupos, mas crescem muito em grandes diversidades, razão pela qual este método não é aconselhado para a aplicação em casos de grande diversidade de componentes e/ou máquinas.

Ainda no mesmo caso, a acuracidade dos dados utilizados, basicamente os roteiros de produção, é fundamental, dado que um erro em qualquer incidência de determinado componente ou máquina vai gerar um erro no valor de todos os coeficientes de similaridade não nulos desta peça com outras. O custo do procedimento é normalmente baixo, bastando que se calcule os coeficientes em uma matriz triangular, construa-se o dendograma, determine-se o nível de corte (grau de similaridade mínimo exigido entre os elementos de uma mesma família) e faça-se os cortes nos grupos. O método exige a participação humana no momento de determinação do nível de corte ou do número de famílias que deseja-se obter. A eficiência do sistema é inversamente proporcional ao tamanho do grupo analisado. A utilização do computador no cálculo dos coeficientes é aconselhada.

Os métodos de arranjo de matrizes são talvez os mais conhecidos e de maior utilização, o que se deve em parte à grande variedade de algoritmos deste tipo existentes, alguns capazes de interagir eficientemente com grandes diversidades de componentes e máquinas. Outra vantagem destes é a capacidade de, através de heurísticas simples, permitir ao analista a manipulação direta - ou por meio do computador - da matriz de incidência, facilitando a identificação das famílias de componentes e máquinas de forma simultânea. (Heragu, 1991). O custo de utilização destas técnicas é normalmente baixo. A acurácia das informações constantes nos roteiros de produção - incidências - é muito importante. Em termos práticos, são poucos os casos documentados de formação de células de manufatura que não utilizam uma técnica deste tipo, devido às numerosas vantagens destes métodos, como precisão, simplicidade, capacidade de trabalhar com grandes diversidades, execução manual ou computacional facilitada, etc. A tendência na prática é da utilização deste método aliado a algum ou alguns outros, sendo que a comparação entre os resultados se dá pelo cálculo dos coeficientes de eficiência de agrupamento (GE), apresentado no capítulo anterior.

Por último, os métodos de programação matemática são talvez os de maior custo de implantação, por requererem o trabalho de especialistas nesta área, raros em empresas. A eficiência destes métodos, caso bem planejados, pode ser grande, devido à flexibilidade inerente aos modelos de programação matemática, adaptáveis às mais diversas situações e capazes de considerar em seu bojo diversas variáveis quantitativas. A resolução do modelo, após construído, é totalmente computacional, cabendo ao analista a interpretação dos resultados. O maior problema da utilização de programação matemática refere-se à incapacidade da maioria dos otimizadores computacionais mais

comuns de trabalhar com um número muito grande de restrições. Este número é diretamente proporcional à diversidade de máquinas e componentes e ao número de incidências existentes. Em casos práticos com alguns milhares ou mesmo centenas de incidências, estes limites podem ser rapidamente alcançados. Neste caso, recomenda-se a utilização do modelo, se viável, em duas etapas: definição de famílias de produtos e definição de famílias de componentes, dentro de cada família de produtos.

A análise dos parâmetros apresentados é o que vai indicar ao analista qual grupo de técnicas (ou grupos) é mais útil para o seu caso particular. De modo geral, pode-se afirmar que qualquer método, se bem aplicado, é capaz de chegar a resultados interessantes. No entanto, com o objetivo de ampliar as chances de atingimento do melhor resultado, de forma mais eficiente, é importante que se escolha, estude e aplique as técnicas mais apropriadas ao caso. A aplicação de diferentes técnicas em um mesmo problema tem normalmente dois objetivos: (i) a complementariedade, isto é, alguns métodos trabalham a partir de resultados apresentados por outros, buscando envolver outras variáveis, refinar os resultados, etc., ou (ii) a busca de soluções alternativas para o mesmo problema, para que se possa compará-las e concluir sobre o melhor resultado gerado.

Por último, é importante frisar que, após a escolha dos métodos, é fator fundamental ao sucesso do trabalho o real aprendizado, por parte dos membros do grupo do projeto, do modo de funcionamento de cada técnica individualmente. Na maior parte das vezes, caberá ao principal analista ou ao líder do grupo a responsabilidade por este treinamento.

4.4.3. A Coleta de Dados

A coleta de dados é uma fase crítica do projeto. O problema maior aqui não reside na tarefa propriamente dita de coletar os dados, mas sim na verificação e melhoria da acurácia destes e do grau que eles têm de representação da realidade.

Cada técnica de formação de famílias compreende um conjunto específico de dados de entrada. Normalmente, no caso de técnicas baseadas em características de processo, os dados utilizados são de 3 fontes:

- Produtos e seus componentes (lista de materiais);
- Lista de máquinas;
- Roteiros de produção.

Adicionalmente, algumas técnicas utilizam outros dados, como tempos de processamento, tempos de preparação, custos de transporte, custos de investimento em novas máquinas, volumes de produção e características físicas (forma e propriedade) dos componentes.

Idealmente, a obtenção e acumulação destes dados deve ser integrada a outros sistemas computacionais já existentes, o que diminui enormemente o tempo, custo e risco desta atividade, e do próprio projeto como um todo. Mesmo desta forma, é essencial que os dados sejam verificados, especialmente os roteiros de produção. Dados imprecisos vão gerar matrizes de incidência, modelos, dendogramas, ou classificações incorretas, que mesmo bem manipulados vão gerar células imperfeitas, abaixo do ótimo da empresa. Se o custo de modificação futura do *layout* físico, ou se o grau de automação existente forem altos, estes erros podem gerar perdas expressivas no futuro, causadas pela alocação de componentes em células incorretas, excessivas movimentações extra-celulares, ociosidade de máquinas e, em casos extremos, reformulação do *layout* físico.

4.4.4. A Formação das Famílias

A formação das famílias significa a execução do método escolhido (ou dos métodos) na fase 4.4.2., a partir de dados coletados na fase anterior.

Independentemente do método a ser utilizado, é importante que se defina antecipadamente dois pontos:

- O número de células desejável após o agrupamento e
- O tamanho máximo e mínimo desejável para cada célula.

A maior parte das técnicas de formação de famílias não fornece como resultado final grupos delimitados de componentes e máquinas. O que se obtém geralmente é o estabelecimento dos diversos níveis de aproximação e semelhança entre estes, possibilitando ao analista, a partir destes parâmetros, definir as famílias provavelmente próximas ao ótimo. Tanto coeficientes de semelhança dispostos num dendograma, como uma matriz reorganizada com a

maioria das incidências na diagonal principal, ou ainda, um código numérico, são apenas elementos indicativos. A decisão final sobre quais sub-conjuntos de peças e/ou máquinas devem formar famílias, e estas, células de manufatura, é, com exceção de algumas aplicações computacionais mais extensas, tarefa pertinente ao analista e sua equipe. Neste caso, mais uma vez torna-se interessante a utilização dos coeficientes GE (Group Efficiency). O analista pode, após a reordenação dada pela técnica de agrupamento utilizada, realizar ajustes manuais sobre esta configuração e recalcular seu GE. As variações neste coeficiente podem indicar a validade do ajuste feito.

Baseando-se, então, nas duas decisões previamente estabelecidas, nos resultados dos métodos aplicados e no conhecimento amplo de outras variáveis presentes no processo e não incluídas no âmbito das técnicas, pode-se delimitar as famílias de componentes e máquinas.

4.4.5. O Balanceamento das Células

O processo de formação de famílias fornece duas informações básicas para o desenho das células de manufatura: a relação dos componentes que serão processados em cada célula, bem como das máquinas que aí serão alocadas para realizar o processamento destes componentes.

No entanto, é impossível que se parta para a última etapa da fase de definição - o desenho das células - sem que se tenha concluído sobre a quantidade de cada máquina que deva ser incluída em cada célula. Esta informação não é fornecida pela maioria dos métodos de agrupamento. Para que se obtenha estes valores, então, é necessário que se realize o dimensionamento e balanceamento da célula, pelo método simples da carga de máquinas.

Em termos de princípios, a teoria da manufatura celular sugere como ideal a alocação de apenas uma máquina de cada tipo em cada célula. No entanto, na maioria dos casos, as diferenças de capacidade observadas entre as diversas máquinas existentes em uma empresa típica são muito grandes, o que inviabiliza economicamente a utilização deste princípio. Ao mesmo tempo, conforme a Teoria das Restrições, o balanceamento de um sistema não deve ser feito a partir de suas capacidades, mas pelo fluxo de materiais que atravessam este sistema (Goldratt e Fox, 1986). Isto também é viável economicamente se as diferenças entre as taxas de produção horária e as

quantidades alocadas de cada máquina não situarem-se além de uma faixa razoável⁷. Se, por exemplo, uma determinada máquina 'A' tiver a capacidade de processar 100 peças/hora, enquanto a máquina subsequente, 'B', apenas 10 peças/hora, seria gerencial e economicamente injustificável a atitude de, passando-se por cima da busca de equilíbrio destas capacidades, partir-se imediatamente para o balanceamento do fluxo, o que tornaria a máquina 'A' ociosa em 90%. Melhor seria, inicialmente, a tentativa de aquisição de novas máquinas 'B' ou de máquinas 'A' de menor capacidade para, a seguir, equilibrar-se o fluxo.

Desta forma, conclui-se que o balanceamento de cada célula de produção pode ser realizado em três etapas:

1. Balanceamento de capacidades: alocação de máquinas em diferentes quantidades na célula, visando atender à carga prevista. A isto se chama "nivelamento da produção".
2. Se algumas máquinas ficarem excessivamente ociosas, deve-se buscar sua substituição por similares de menor capacidade. Se algumas não existirem em quantidade suficiente para a carga prevista na célula ou em todas as células, deve-se analisar o investimento em similares.
3. Balanceamento do fluxo produtivo, conforme as técnicas da Teoria das Restrições ou do conceito de Máquina-Chave, apresentado no Capítulo 3.

O dimensionamento de capacidades deve ser realizado por carga de máquina. Para cada posto operativo 'j', deve-se calcular o somatório da demanda em tempo dos 'n' componentes 'i' que passam por este posto, na forma:

$$DT_j = \sum_{i=1}^n D_i \cdot T_i + \sum_{i=1}^n (D_i / LFi^*) \cdot S_i \quad \forall j$$

Eq. 4.4.5

⁷É claro que não se pode aqui tipificar a extensão desta faixa razoável, como, por exemplo, 75% - 125%. Este valor difere de sistema para sistema e deve ser observado pela equipe, talvez, novamente, com o auxílio de técnicas como simulação, ou pela simples observação do fluxo esquematizado do sistema.

sendo:

DT_j = Demanda geral, em horas, do posto 'j';

D_i = Demanda, em unidades, do item 'i';

T_i = Tempo de processamento, em horas, da unidade do item 'i';

LF_i^* = Lote de fabricação, em unidades, do item 'i';

S_i = Tempo de preparação, em horas, por lote de fabricação do item 'i'.

O período de tempo considerado no cálculo de ' D_i ' (unidades/mês, unidades/dia, etc.) será, naturalmente, o período de tempo de ' DT_j ' (horas/mês, horas/dia, etc.). Dividindo-se cada ' DT_j ' pela oferta de horas no período de tempo de uma unidade do posto 'j' respectivo, tem-se a quantidade de máquinas deste tipo necessárias na célula.

4.4.6. O Desenho das Células

As técnicas de formação de famílias apresentadas no capítulo anterior foram desenvolvidas de forma a considerar, em sua fórmula, algumas variáveis do sistema produtivo, especialmente roteiros de produção ou características físicas dos componentes. No entanto, há em termos práticos um conjunto amplo de variáveis com importância em termos de eficácia do *layout* proposto que, por não terem sido ainda observadas, devem ser consideradas fortemente pelo analista na etapa de desenho das células de manufatura.

Espera-se que o analista e sua equipe tenham a capacidade de adaptar, à luz destas novas variáveis, o *layout* 'real' e possível de cada célula a partir do *layout* ótimo 'ideal', que representa a organização dos elementos agrupados em torno de um modelo teórico padrão, que compreende, entre outras coisas, a disposição das máquinas em 'U', em linha ou em *loop*; lotes pequenos de fabricação e transferência; sincronização; etc. Em suma, estas variáveis adicionais, abaixo listadas, se comportarão como restrições à maximização do objetivo do trabalho, que é o de formar células teoricamente ótimas.

Groover (1980), Lorini (1993) e Sundaran (1987), entre outros, tratam de definir alguns destes aspectos, entre os quais:

1. Carga e balanceamento da célula;
2. Características físicas das peças;
3. Roteiros alternativos;
4. Ferramental e equipamentos adicionais necessários;
5. Seqüenciamento da produção;
6. Lotes de produção - média e variância;
7. Tamanho adequado da célula;
8. Localização da célula, dos corredores, locais de armazenagem, etc.;
9. Interdependência das máquinas entre as diversas células.

A análise destes dados servirá principalmente ao ajuste do conjunto de componentes, máquinas e atividades originalmente designados a pertencer a cada célula. Alguns componentes podem ser orientados a novas células, devido a características como roteiros de produção alternativos, pertinência a outros produtos, ou ainda, lotes de produção ou volumes de produção muito acima ou abaixo do equilíbrio da célula. Algumas máquinas podem não estar disponíveis na quantidade que se desejaria, implicando em novas reformulações. Outras máquinas podem ser compartilhadas, isto é, posicionadas em locais estratégicos da planta de forma a permitir seu uso por mais de uma célula, sem que isto acarrete excessiva movimentação de materiais.

Portanto, a primeira fase do desenho das células compreende a coleta de dados capazes de subsidiar um ajuste do conjunto agrupado e do modelo teórico inicial em direção à realidade da empresa. Nesta fase, assim como no desenho final, é interessante que, se possível, construa-se um modelo de simulação do novo *layout*, para que se obtenha uma informação mais aproximada sobre seus resultados futuros, a exemplo do estudo realizado por Burgess, Morgan e Vollmann (1993). Terminada esta primeira fase, passa-se ao desenho efetivo da célula.

O desenho do *layout* celular compreende o arranjo, num espaço físico limitado, do conjunto de elementos inter-relacionados incidentes em cada célula: pessoas, máquinas, componentes, materiais, atividades. O processo de desenho de uma célula é, naturalmente, semelhante a qualquer projeto de *layout* industrial. Neste projeto devem estar especificadas, entre outras, as seguintes informações:

- A localização das máquinas, principais ferramentas, equipamentos e bancadas⁸;
- Os locais de armazenagem de ferramentas, matérias-primas e materiais em processo;
- Os corredores de acesso e movimentação de pessoas e materiais;
- Instalações elétricas, hidráulicas, etc.;
- Os locais de posicionamento dos trabalhadores nas máquinas e bancadas.

A principal diferença entre o projeto arquitetônico de um *layout* comum para um de *layout* celular reside, novamente, nos princípios que devem pautar esta tarefa. *Os objetivos e parâmetros operacionais da manufatura celular devem ser efetivamente alcançados.* Este deve ser o ponto central de atenção do grupo na etapa de desenho.

Uma célula bem projetada tem, portanto, três características fundamentais:

1. Um conjunto de elementos - máquinas, componentes, pessoas, atividades - ajustados harmoniosamente, sem que, para isso, causem prejuízos às atividades restantes da empresa;
2. Um projeto arquitetônico criterioso, que respeite o espaço, a dinâmica e as condições necessárias ao bom funcionamento do processo produtivo aí alocado;
3. A busca efetiva dos princípios, objetivos e vantagens possibilitadas pela aplicação da tecnologia de grupo e manufatura celular, detalhados no capítulo 2.

O atingimento destes três aspectos e o bom gerenciamento das células no futuro são as condições que garantirão seu sucesso e estimularão a ampliação do processo de reformulação do *layout* para áreas restantes da empresa.

⁸Em relação à localização das máquinas no interior das células, Ho, Lee e Moodie (1993) desenvolveram duas heurísticas capazes de orientar sobre o melhor arranjo em seqüência das máquinas alocadas a uma determinada célula, seção ou linha de produção.

4.5. A Fase de Implantação

A última fase deste projeto corresponde à implantação efetiva das células projetadas. Esta é a fase mais crítica do projeto, na qual serão testadas tanto a qualidade daquilo que já se realizou nas fases anteriores como a real disposição das pessoas em realizar as modificações pretendidas.

A fase de implantação será tanto mais fácil quanto tenham sido bem conduzidas as atividades anteriores, especialmente no que se refere aos aspectos de envolvimento e conscientização das pessoas, consideração de um conjunto amplo de variáveis operacionais e estratégicas e conhecimento das técnicas de agrupamento.

A fase de implantação é compreendida por três atividades distintas:

1. A preparação para a mudança;
2. A implantação física da manufatura celular, e
3. O gerenciamento e controle da célula e o *feed-back* para as outras áreas.

Devido à inclusão nesta fase de uma etapa de gerenciamento, pode-se concluir que esta não tem um fim pré-determinado. No momento oportuno, à medida que os negócios da firma avançam e as variáveis se alteram, será necessária uma reavaliação e ajuste do *layout*. Dependendo da amplitude destas mudanças, pode-se justificar o início de um novo projeto.

4.5.1. A Preparação para a Mudança

A preparação para a mudança, dependendo da amplitude do projeto proposto, pode ser composta por até 3 atividades distintas:

- Reuniões das pessoas envolvidas com o projeto e com a área tratada;
- Definição de cronograma de implantação; e
- Planejamento do projeto de mudança, com auxílio de técnicas como redes PERT/CPM.

A primeira atividade é sempre essencial. A reunião com os trabalhadores visa, pela última vez, apresentar o *layout* definido, realizar

ajustes e discutir amplamente as rotinas de trabalho a serem implementadas nestas novas condições. Deve-se ouvir as expectativas presentes, buscando adequar o projeto a estas ou, quando não for conveniente, justificar o não cumprimento destas expectativas. Deve-se, quando necessário, utilizar-se de atividades como treinamentos em sala de aula ou no chão-de-fábrica, palestras, manuais de trabalho ou outras, dentro do objetivo de capacitar as pessoas a trabalhar neste novo contexto, encurtando a curva de aprendizado.

Nesta mesma reunião, ou em outra mais operacional, deve-se também definir um cronograma para a mudança. Um cronograma compreende a descrição das diversas atividades, prazos, responsabilidades e recursos necessários para o atingimento de um objetivo. A identificação de um coordenador para a mudança, que pode ser o próprio líder de tecnologia anteriormente definido, também é necessária.

Por último, caso o projeto envolva uma gama de recursos que justifique tal tarefa, pode ser interessante a construção de uma rede de planejamento e programação do tipo PERT/CPM.

Quanto melhor a preparação, menor o risco de ocorrência de problemas durante a fase de mudança do *layout* e reinício das atividades. Por outro lado, deve-se evitar que um excesso de preparações e planos resulte em desmotivação do grupo, pela simples demora na execução da mudança. Cabe à equipe do projeto encontrar o ponto de equilíbrio entre a precaução e a agilidade exigidas na prática.

A. A Mão-de-Obra como Fator Crítico de Sucesso na Implantação de Novas Tecnologias

O processo de implantação de células de manufatura, apesar de não envolver necessariamente a introdução de soluções tecnicamente avançadas, é semelhante em muitos aspectos ao processo básico de implantação das chamadas Tecnologias Avançadas de Manufatura (AMTs).

Nos últimos anos, dado o incremento substancial no volume de aplicação de AMTs em ambientes industriais, vários autores têm se dedicado ao estudo de parâmetros determinantes do sucesso ou fracasso destas aplicações, buscando traçar regras que possam facilitar este processo, garantindo seu sucesso. Um dos principais aspectos abordados na literatura

contemporânea é o referente aos recursos humanos, simplesmente porque este é um dos aspectos que mais carece de atenção por parte dos gerentes no momento da mudança e porque não se dispõe, ao contrário de aspectos como avaliação de investimentos, por exemplo, de instrumentos quantitativos que possam claramente resolver suas questões principais.

Hirsch-Kreisen e Schultz-Wild (1990), ao estudarem uma série de casos de introdução de AMTs em indústrias alemãs concluíram que, normalmente, "os critérios básicos para a implantação de novas tecnologias são o econômico e o técnico. Os aspectos relativos à mão-de-obra são secundários, o que tende (conseqüentemente) a ampliar as diferenças entre capital e trabalho." Ainda segundo os autores, isto pode restringir o escopo de atuação da mão-de-obra, provocando a saída da empresa do pessoal mais habilidoso. Estas conclusões ressaltam a importância do empreendimento de atividades que realmente integrem os recursos humanos no escopo de planejamento da introdução de AMT's.

Saraph e Sebastian (1992) definiram oito fatores críticos para tal:

1. *Job design*: devem ser previstas as possíveis modificações que a mudança trará sobre as necessidades de interdependência, informações, coordenação, atenção e responsabilidade dos trabalhadores;
2. Estrutura organizacional: deve desenvolver-se no sentido de integração. Neste sentido, podem ser reduzidos os níveis hierárquicos, incentivado o trabalho em grupo, definidos cargos de maior escopo de atuação e reduzido o grau de exatidão na descrição dos cargos;
3. Seleção e recrutamento de pessoal: deve ser realizada segundo as necessidades apresentadas pela AMT;
4. Treinamento: conforme as necessidades apresentadas. O treinamento pode ser em sala de aula ou no local de trabalho, real ou simulado, em grupo ou individual, com ou sem a presença de supervisores ou colegas de outras áreas;
5. Supervisão: deve ser revista a necessidade de supervisão e, se necessário, redefinidas suas atribuições;
6. Pagamento: pode ser realizado com base individual, em grupo ou combinada (individual mais grupo);

7. Relações com os sindicatos: idealmente, os sindicatos atuantes devem participar do processo de introdução de AMT's, evitando-se possíveis retaliações;
8. Preparação para a mudança: é preciso haver segurança de que não haverá desemprego, que as atividades desempenhadas não ficarão mais perigosas, tediosas ou cansativas e que o status de cada um e as relações sociais não vão se alterar. Estes são, normalmente, os maiores receios dos trabalhadores.

Na preparação para a mudança do *layout*, estes aspectos devem ser antecipadamente verificados, evitando-se problemas com a mão-de-obra que venham a inviabilizar o projeto. É preciso ter em mente que a mão-de-obra é um critério tão determinante da possibilidade de sucesso deste projeto como os aspectos técnicos e econômicos. A mão-de-obra não deve ser encarada como um empecilho, mas como uma restrição que pode limitar o grau de sucesso do novo *layout*, assim como os dois outros fatores citados.

4.5.2. A Implantação

A fase de implantação propriamente dita consiste na mudança física do *layout* anterior para o *layout* celular.

Idealmente, a fase de preparação e todas as atividades anteriores devem ter sido realizadas de forma a garantir que a fase de implantação não gere transtornos adicionais à empresa além dos usuais de qualquer mudança na estrutura física. Todas as precauções e projeções relativas a esta etapa já devem ter sido realizadas anteriormente.

À equipe do projeto cabe uma missão: gerenciar a fase de execução da implantação de forma a garantir que o cronograma estabelecido seja cumprido e que o *layout* proposto represente fielmente aquele que foi projetado.

A mudança física deveria ser realizada de forma a minimizar o transtorno da parada à empresa. Idealmente, a mudança que exige paradas de produção deveria se realizar nos períodos de entressafra, férias coletivas ou dias não úteis.

Após a reorganização física, no reinício das atividades produtivas, várias atividades de planejamento, direção e controle do sistema deverão ser ajustadas. Isto é o início da fase de gerenciamento e controle, a etapa final do projeto.

4.5.3. Gerenciamento e Controle

A última fase do projeto - o gerenciamento e controle - representa, de fato, a volta à normalidade da fábrica. O objetivo desta fase, além das funções tradicionais de planejamento e controle, é o ajuste e o aprimoramento constante do sistema de produção implementado.

No que se refere ao gerenciamento da célula, cabe ou à equipe do projeto ou aos supervisores e gerentes da área a adaptação dos sistemas de planejamento e produção, a definição dos locais de armazenagem e movimentação de materiais (se o projeto já não o fez), e a alteração das rotinas de produção conforme percepção da gerência ou sugestões dos trabalhadores.

No que concerne ao sistema de planejamento e controle da produção, há cinco questões básicas a serem definidas:

1. A lógica de planejamento da produção a ser utilizada;
2. A heurística de seqüenciamento da produção a ser priorizada;
3. A definição do tamanho dos novos lotes de produção, se fixos, ou de seus limites inferior e superior, se variáveis;
4. O balanceamento das células internamente e em relação a outras células ou setores da empresa;
5. A quantificação dos *buffers* de estocagem intermediária nos locais considerados necessários, especialmente no gargalo.

A última questão é parte da Teoria das Restrições (Goldratt e Fox, 1986). As restantes têm sido objeto de estudo de diversos autores, compreendidas já por diversas publicações recentes.

Em relação à primeira questão, Larsen e Alting (1993) realizaram uma revisão das quatro principais filosofias de planejamento de produção existentes (*Manufacturing Resources Planning - MRP II*, *Optimized Production Technology - OPT*, *Just-In-Time*, *Decentralized Production Planning - DPP*)

e definiram parâmetros para a escolha da mais adequada a determinado sistema produtivo.

Quanto à segunda questão, Mahmoodi e Dooley (1992) e Ruben, Mosier e Mahmoodi (1993) revisam uma série de heurísticas voltadas ao seqüenciamento da produção em células de manufatura. O primeiro trabalho discute algumas destas heurísticas. No segundo, os autores realizam uma análise comparativa sobre os resultados apresentados por cada uma em determinados tipos de sistemas produtivos.

Em relação à terceira, Shtub (1990) apresenta uma heurística para a determinação de lotes de produção em sistemas de tecnologia de grupo sob a lógica MRP.

Finalmente, Johnson (1991) e Downey e Leonard (1992) discutem regras para o balanceamento de linhas de montagem e grupos de trabalho flexíveis, o que se reflete no quarto aspecto relacionado.

Além da reorganização dos sistemas de planejamento e controle da produção, talvez o principal desafio apresentado aos gerentes e supervisores da área seja a adaptação de seus próprios conceitos, métodos e técnicas de trabalho, às vezes tradicionais, a uma nova maneira de trabalhar. Esta atitude de reconversão, mesmo com os treinamentos e o acompanhamento realizados durante todo o projeto, é uma tarefa que pode levar um tempo razoável, dependendo de cada indivíduo.

No que se refere ao controle da produção, deve-se buscar, após o reinício das atividades, o levantamento de dados que possam permitir a avaliação dos resultados obtidos em relação aos parâmetros anteriores. Esta avaliação deve ser feita em duas etapas, para o cumprimento de dois objetivos:

1. A comparação entre os parâmetros de desempenho da área piloto - perdas, retrabalhos, estoque intermediário, estoque final, tamanho dos lotes, lead-time, tempos de preparação, etc. (conforme o ponto 4.4.1) - antes e após a introdução da manufatura celular. Esta comparação tem o objetivo de avaliar o potencial da manufatura celular no restante da empresa e sua adequação ao tipo de estrutura produtiva do caso.

2. A comparação entre estes mesmos parâmetros operacionais em relação aos objetivos propostos no início da fase de definição. Esta comparação busca avaliar a qualidade do projeto em si e pode apontar o espaço potencial para melhorias na própria área piloto.

4.6. Conclusão

Uma metodologia dita genérica não pode ser entendida como um arsenal de técnicas e atividades que abarquem todas as necessidades possíveis de ocorrência em um determinado caso particular, pelo simples fato de que ela é genérica, e dela as diversas implantações específicas devem ser derivadas e adaptadas, freqüentemente através da utilização de um número maior ou menor de fatores. Este é um princípio fundamental da lógica científica.

A função principal de uma metodologia dita genérica é a de fornecer uma semente de inicialização, um roteiro básico inicial para a implantação da tecnologia por ela referida. Em cada caso prático, possivelmente hão de surgir necessidades ou conveniências que justifiquem a inclusão de uma nova atividade ou a exclusão de determinado passo inicialmente previsto. A capacidade de realização desta adaptação por parte da equipe de implantação é um fator crítico de sucesso deste projeto.

A metodologia aqui definida foi desenvolvida tendo como princípio fundamental de **efetividade** os conceitos de Tecnologia de Grupo e Manufatura Celular, apresentados no Capítulo 2. As técnicas para a execução da etapa de definição das células foram apresentadas no Capítulo 3. O Capítulo 4 apresentou, além da metodologia em si, técnicas e parâmetros para a execução de diversas outras atividades nas etapas restantes, não abrangidas no Capítulo 3 por questões de organização do trabalho. Além deste conjunto de técnicas, a metodologia foi definida a partir de um caso prático, o qual será apresentado no próximo capítulo.

Capítulo 5

Comentários sobre a Implantação da Manufatura Celular em uma Indústria do Ramo de Madeiras e Plásticos

5.1. Introdução

A metodologia apresentada no capítulo anterior, a qual constitui-se no aspecto central desta dissertação, foi desenvolvida com base em numerosas fontes bibliográficas e na aplicação paralela - à medida em que o modelo estava sendo desenvolvido - da manufatura celular em uma indústria do interior do Rio Grande do Sul.

A empresa na qual ocorreu este trabalho é um estabelecimento industrial de médio porte, voltado à produção de brinquedos e utensílios de plástico ou madeira. É composta por aproximadamente 400 funcionários - 250 de chão-de-fábrica - com um faturamento anual em torno de US\$ 15 milhões. Em termos gerais, seu processo produtivo poderia ser dividido em 6 grandes seções: usinagem de plástico, montagem de plástico, metalurgia, usinagem de madeira, montagem de madeira e pintura.

O trabalho de campo durou aproximadamente um ano, entre outubro de 1992 e setembro de 1993.

O objetivo central deste capítulo é tecer comentários sobre os principais fatos ocorridos no caso prático, a partir da metodologia proposta, buscando, assim, concluir sobre sua viabilidade, utilidade e limitações.

É importante salientar que, em termos temporais, o desenvolvimento da metodologia e a implantação efetiva da manufatura celular ocorreram simultaneamente. Por esta razão, nem sempre o formato das ações efetivadas foi o mesmo proposto na metodologia. Nestes casos, a observância dos próprios erros e acertos da realidade serviram como dado de entrada para a formulação do modelo. Em outras etapas, no entanto, houve um planejamento prévio da ação a ser tomada, isto é, a etapa foi introduzida e discutida no modelo um pouco antes de sua efetiva implantação. Naturalmente, os resultados provenientes desta ação serviram para a reavaliação do que havia sido planejado anteriormente. Este detalhamento sobre a temporaneidade dos fatos a nível teórico e prático pode explicar a dinâmica da formulação do modelo apresentado.

5.2. A Cronologia das Ações

O projeto se desenvolveu na empresa durante um período de 12 meses, desde o início da análise de campo até a implantação efetiva da célula piloto, na área de madeira. A distribuição das atividades ao longo destes meses foi a seguinte:

meses	atividades desenvolvidas
01 a 03	Análise da empresa.
04 e 05	Formação da equipe.
06	Focalização da fábrica. Definição da área piloto.
07	Análise da área piloto. Definição de objetivos. Aplicação de técnicas de apoio.
08 e 09	Escolha do método de agrupamento. Coleta de dados. Formação das famílias. Balanceamento.
10	Desenho das células.
11 e 12	Implantação da célula piloto.

Quadro 5.1. - Cronologia da implantação

O tempo transcorrido em cada fase é um resultado direto das necessidades específicas da empresa. Naturalmente, dependendo do local de aplicação da manufatura celular, das pessoas envolvidas e dos recursos disponíveis, este tempo pode ser consideravelmente maior ou menor. Além disso, o tempo necessário à implantação das células restantes na área piloto ou mesmo em outras áreas da empresa é consideravelmente menor, pelo motivo óbvio da aquisição de experiência e da não necessidade de repetir-se uma série de etapas iniciais em cada caso.

5.3. A Análise da Empresa

Quando a equipe de assessoria externa iniciou suas atividades na empresa, foi incluída no cronograma aprovado uma fase chamada 'diagnóstico'. Este diagnóstico, como se sabe, tem o objetivo de levantar informações capazes de fornecer aos analistas externos, em primeiro lugar, um conhecimento básico sobre as atividades da empresa, seu funcionamento, objetivos, métodos, estrutura, etc. Em segundo lugar, deve fornecer dados que permitam a identificação de quais atividades, qual tecnologia⁹ deveria ser prioritariamente aplicada com o objetivo de elevar a *performance* do sistema produtivo.

No entanto, tem-se aqui um paradoxo. A definição da tecnologia a ser aplicada exige, num primeiro momento, a obtenção de dados específicos a respeito do sistema. Por outro lado, cada técnica de produção que possa ser individualmente aplicada exige também um conjunto de dados a serem utilizados em seu caso específico, antes e durante sua execução. Por esta razão, a coleta de dados do sistema deve ser realizada em duas etapas distintas:

1. Obtenção de dados, principalmente de cunho genérico e num espectro amplo, com o objetivo de servir de base a um diagnóstico inicial e à escolha da tecnologia adequada, e
2. Obtenção de conjuntos de dados detalhados e específicos a determinados aspectos do sistema produtivo, cada conjunto servindo de base a determinada técnica a qual se pretende implementar.

⁹O termo 'tecnologia' é aqui empregado como o conjunto de técnicas - organizacionais, humanas, de automação - compreendidas no âmbito da engenharia de produção e da administração da produção, passíveis de serem aplicadas em determinado sistema produtivo, com vistas à obtenção de melhorias em parte ou na totalidade deste sistema.

Com referência ao modelo proposto, a primeira etapa corresponde ao que se chamou de "estudo do ambiente", na fase de preparação, enquanto a segunda etapa corresponde à "coleta de dados", na fase de definição. Adicionalmente, no caso do modelo proposto, sugeriu-se, com a finalidade de escolha das técnicas de agrupamento mais adequadas ao caso, a determinação de alguns parâmetros específicos, resumidos na tabela 4.4.2. do capítulo anterior.

A etapa correspondente ao estudo do ambiente durou 3 meses. É importante salientar que a periodicidade das visitas da equipe externa era semanal. Se as visitas fossem realizadas mais freqüentemente, o estudo do ambiente poderia ser realizado, naturalmente, em menor tempo. Além disto, não houve um planejamento prévio, em termos de definição de um *check-list*, por exemplo, que determinasse um procedimento mais eficiente nesta etapa. Esta falta de planejamento gerou problemas quanto aos dados solicitados: foram requisitados à empresa uma série de relatórios extensos sobre custos, vendas, roteiros de produção, programação da produção, etc., os quais foram analisados e dos quais apenas uma parte foi efetivamente utilizada, enquanto, adicionalmente, eram requisitados outros relatórios adicionais. Por outro lado, um fator que contribuiu positivamente à eficiência desta etapa foi o nível de cooperação das pessoas encarregadas de prestar as informações requisitadas.

Como nesta fase já havia uma idéia, embasada em fatos observados na prática, da grande possibilidade de implantação da manufatura celular em ao menos uma parte da empresa, alguns dados, como roteiros de produção, foram pedidos já nesta fase, o que reduziu o tempo de coleta de dados em etapa posterior.

Em termos da análise realizada, as questões técnicas, principalmente as relacionadas ao sistema produtivo da empresa, foram objetivamente esclarecidas. As questões de cultura técnica, no entanto, não foram tão bem aprofundadas, o que parece ser um erro comum neste tipo de projeto. O principal elemento limitante à rápida introdução do novo *layout* não foi técnico, e sim, a resistência da média gerência, mesmo após a realização de uma série de treinamentos, debates e reuniões de trabalho. A possibilidade de ocorrência deste problema, apesar de levantada, foi subestimada no início do projeto. A utilização de um questionário de análise da cultura técnica, a exemplo do sugerido na descrição da metodologia, poderia ter evitado este fato.

5.4. A Formação da Equipe

A equipe destinada à implantação da manufatura celular contou, além do assessor externo, com 3 outras pessoas: o supervisor de planejamento e controle da produção e os dois supervisores da área escolhida (madeira). Além destes, participavam eventualmente das reuniões o gerente de PCP, o gerente de produção e o chefe da manutenção. Estas pessoas, à exceção dos dois supervisores, foram incorporadas logo após o estudo do ambiente. Os supervisores da madeira iniciaram sua participação após a escolha da área piloto.

O líder da equipe, entre as pessoas da empresa, foi o supervisor de PCP. Ele foi escolhido basicamente por três razões: por ser um elemento central, isto é, poderia participar em qualquer área, por demonstrar grande interesse pelo projeto e, não menos importante, por ser o único, ao lado do gerente de PCP, que possuía curso superior. Esta pessoa foi efetivamente aceita pelos restantes como líder do grupo. O autor deste trabalho atuou combinadamente em coordenação dos trabalhos, ao lado do líder, e em treinamento do pessoal.

Em termos de envolvimento da equipe, os supervisores da madeira demonstraram grande interesse no projeto. Na área de plástico, a primeira sondada para servir de piloto - a partir do parâmetro de resultado econômico potencial do projeto nesta área - o interesse foi bem menor, o que levou a equipe a suspender temporariamente esta área.

A alta gerência assumiu uma posição dúbia. Formalmente, demonstrou-se interessada e satisfeita com os resultados parciais que iam sendo apresentados. Informalmente, no entanto, a posição era de não envolvimento com o projeto. Esta atitude gerou dificuldades, pois reforçava a 'autoridade' daqueles não interessados em seu prosseguimento. Nas etapas finais (após a observância de resultados efetivamente positivos com o novo *layout* da área de madeira), esta posição foi revertida, o que reduziu sintomaticamente o grau de resistência da média gerência.

Como resultado da primeira atitude, a equipe encontrou dificuldades para o prosseguimento do projeto; a responsabilidade assumida pela equipe não foi acompanhada por correspondente autoridade para a execução do planejado. O projeto pôde ser executado, mas certamente o foi num tempo maior do que poderia efetivamente ter sido.

Sobre esta etapa, há uma conclusão fundamental. Só haverá a possibilidade de sucesso na implementação de qualquer tecnologia de manufatura se houver inicialmente, por parte da empresa, o efetivo interesse, apoio e disposição à execução do projeto. As atividades de motivação, treinamento e envolvimento das pessoas são importantes enquanto catalisadoras destas atitudes, mas, por si só, têm pouco poder de mudar uma resistência calcada em valores, temores ou opiniões anteriores.

5.5. A Escolha da Área Piloto.

O primeiro critério definido para a escolha da área piloto foi o de lucratividade. Conforme a literatura apregoa (Harmon e Peterson, 1990), o trabalho deveria ser inicialmente realizado na área de maior participação nos lucros da empresa, pois é nesta que, possivelmente, os resultados alcançados serão proporcionalmente mais relevantes. A partir deste parâmetro, e da própria indicação da diretoria da empresa, foi escolhida a área de plásticos como piloto, especificamente a linha de fabricação de triciclos infantis.

No entanto, quando se partiu para a prática, surgiram problemas fundamentais que dificultaram a ação da equipe do projeto. A gerência da área não quis participar do projeto: alegavam desconfiança sobre seus resultados e a própria inadequabilidade de qualquer proposição que envolvesse a reformulação do *layout*. As diversas horas despendidas em treinamento, reuniões de trabalho, motivação e 'convencimento' destas pessoas não surtiam muito efeito. Do ponto de vista técnico, a situação era semelhante. Os custos de realocação das máquinas (extrusoras de plástico), verificados após um rápido pré-projeto feito, foram considerados excessivos. A adaptação da linha de montagem baseada em esteiras para um sistema em bancadas em 'U' não foi aceita nem para testes. E, finalmente, o processo de revisão do sistema de impressão e secagem utilizado para gravar o nome da empresa nas rodas dos brinquedos, que utilizava para tal uma esteira de 30 metros de comprimento, inviabilizando qualquer sistema de *layout* mais integrado, demonstrou-se extremamente lento, sem que a gerência efetivamente se interessasse por isto. Concluiu-se logo que a escolha baseada somente na lucratividade não era suficiente. O processo de implantação da manufatura celular nesta área seria demasiadamente longo e arriscado.

No outro lado da fábrica, na área de madeira, a situação era diferente. Após terem assistido aos treinamentos realizados, os dois supervisores da área

identificaram alguns benefícios que o sistema de *layout* em grupo poderia lhes trazer. A área de madeira é composta por cerca de quarenta postos operativos e cento e cinquenta produtos, muitos dos quais com alta similaridade entre si. Além disto, a maioria das máquinas existentes são de pequeno porte, o que torna muito barato e de baixo risco qualquer mudança em seu *layout* fabril. Após algumas reuniões, conversas informais e trabalhos no chão-de-fábrica, concluiu-se que seria muito mais viável a execução inicial do projeto nesta área. A área de madeira foi, por isso, escolhida como área piloto, faltando selecionar, após a etapa de definição do projeto, qual das células arranjadas seria a primeira a ser efetivamente montada.

A conclusão do grupo foi simples. Apesar do ganho potencial do projeto ser um critério importante na definição da área piloto, este não é o fundamental. O interesse e participação das pessoas atuantes na área, além do custo e tempo necessários para a mudança, tudo isto envolvido pela questão econômica fundamental, relativa ao grau de diversidade e tamanho de lotes existentes na área, formam o conjunto de critérios fundamentais na determinação da área piloto. Às outras áreas, cuja aplicação do *layout* celular não será obrigatoriamente menos importante ou necessária, caberá a postura de 'ver para crer' e de remoção, no tempo que for necessário, das barreiras que aí limitam esta tarefa.

5.6. A Análise da Área Piloto e a Aplicação de Técnicas de Apoio

A análise da área piloto foi estruturada de forma a responder objetivamente a dois tipos de questões. Primeiro, algumas relacionadas à adequabilidade da área quanto à aplicação imediata de um sistema de *layout* celular, além das próprias questões levantadas na etapa anterior. No segundo grupo, foram levantados os principais parâmetros que serviriam de avaliação para a efetividade do *layout* proposto, após sua implantação.

O primeiro grupo consistiu, basicamente, de questões que iriam determinar a necessidade ou não de aplicação de algumas técnicas de apoio, conforme detalhado no capítulo anterior. Dentre estas, as principais foram:

- Os tempos de troca e ajuste de ferramentas nas máquinas gargaio;
- O grau de padronização de procedimentos e produtos existente;

- O nível de cooperação existente entre o grupo de funcionários do chão-de-fábrica, e
- O nível de motivação e participação que se poderia ter entre esses no processo de definição e implantação do sistema.

As duas primeiras questões são eminentemente técnicas. O grau de padronização de procedimentos e produtos encontrado, se não era o melhor possível, foi considerado adequado para a manufatura celular. Em relação aos tempos de *set-up*, as plainas (um tipo de equipamento da seção de madeiras) apresentaram resultados inferiores aos necessários para viabilizar os pequenos lotes de produção que se desejaria dentro das células. A solução para este problema poderia ser dada de duas maneiras: a) estudando os procedimentos de troca e ajustes de ferramentas, com vistas a reduzir o tempo total desta operação, conforme as metodologias difundidas na literatura de *set-up* (Shingo, 1985; Monden, 1990) e b) padronizando alguns componentes específicos usinados nas plainas, de modo que um lote determinado de um destes componentes pudesse servir a um número razoável de diferentes produtos indiscriminadamente. A primeira solução é a mais adequada, pois realmente viabiliza pequenos lotes, ao invés de torná-los 'menos necessários', o que é o caso da segunda. No entanto, neste caso em particular, seu tempo de execução seria mais longo, visto que as decisões relativas a mudanças técnicas no processo (de responsabilidade do setor técnico) se desenvolvem, nesta empresa, muito mais lentamente do que as decisões relativas a mudanças nos produtos (de responsabilidade dos supervisores e gerente de produção). Além disto, estes últimos estavam muito mais interessados e envolvidos pelo projeto do que o setor técnico.

Como a esta altura o tempo já era um artigo valioso, decidiu-se por uma solução em duas etapas. Primeiro, após a definição das células e da escolha de qual seria a pioneira, seria verificada a real necessidade de trabalhar sobre as plainas, e sobre qual componente isto ocorreria. Se possível, se partiria para uma rápida padronização deste, o que, na área de madeira, é um procedimento relativamente simples. Posteriormente, após a implantação da célula, iniciariamos um estudo de redução nos tempos de preparação.

Em relação às questões de cultura técnica, tanto o grau de cooperação como o de envolvimento do grupo em relação ao projeto foram considerados adequados. Além disso, houve ainda a programação de atividades que buscariam melhorar estes pontos. Em relação ao trabalho em grupo, foram realizadas palestras, em sala de aula, enfatizando e justificando esta postura,

com base em exemplos tradicionalmente conhecidos na literatura e no cenário industrial gaúcho. Em relação ao envolvimento e aceitação do projeto, realizaram-se duas reuniões, no próprio local de trabalho, apresentando o projeto e seus objetivos, e buscando-se definir um sistema de trabalho a ser utilizado após a implantação. Estas atividades efetivamente surtiram efeito; pode-se afirmar que qualquer resistência sofrida pelo projeto não foi proveniente do chão-de-fábrica, mas de escalões médios e superiores.

Em relação ao segundo grupo de questões - parâmetros de avaliação - foram inicialmente levantados:

- tempo total de fabricação (*lead-time*), desde a entrada de um pedido de vendas até sua entrega efetiva;
- volume de estoques intermediários e finais;
- área ocupada;
- volumes gastos em perdas ou retrabalhos;
- tamanho dos lotes e número de diferentes referências trabalhadas em um mesmo dia, e, finalmente,
- estimativa do montante dispendido em movimentações e a extensão dos trajetos percorridos pelos componentes principais.

No final deste capítulo, será apresentado um quadro comparativo entre os resultados obtidos após a implantação da célula piloto e dos valores coletados nesta fase.

5.7. A Escolha do Método e a Formação das Famílias

O grupo considerou inicialmente três métodos de formação de famílias passíveis de utilização na área de madeira: análise visual, coeficientes de similaridade e arranjo de matrizes. Estes métodos foram inicialmente escolhidos devido à possibilidade de serem rápida e facilmente apreendidos e utilizados pelo pessoal que formava o grupo do projeto. O grupo também preferiu, por questões práticas, utilizar nesta primeira fase apenas um entre estes métodos. A análise de quatro parâmetros específicos determinaria qual dentre eles seria utilizado. Os parâmetros analisados e seus resultados foram:

1. *Grau de diversidade de componentes e máquinas:* considerado alto;

2. *Custo permitido a esta etapa*: a disponibilidade de recursos, tanto em tempo como em dinheiro, era realmente pequena;
3. *Nível de decisão pessoal*: idealmente, seria interessante que houvesse certa participação do grupo na formação das células, dado que este era o primeiro trabalho. No entanto, devido também à pouca experiência existente, concluiu-se que o grau de participação deveria ser 'médio', isto é, a participação era esperada na etapa final do trabalho (definição dos grupos), centralizando-se as etapas intermediárias de execução da técnica;
4. *Computação*: havia um microcomputador com microprocessador 80386 disponível, o que foi considerado suficiente.

Os três primeiros parâmetros desqualificaram a utilização da análise visual. A alta diversidade tornaria a aplicação de um método baseado em coeficientes de similaridade excessivamente trabalhoso. Restou-nos a utilização de algum método de arranjo de matrizes, para o qual os quatro parâmetros se ajustaram muito bem (ver Capítulo 4).

A coleta de dados foi trabalhosa. Os roteiros de produção registrados estavam em sua maioria desatualizados ou simplesmente incorretos. Havia algumas máquinas citadas que já nem eram mais de propriedade da empresa, e havia a descrição de um grande número de roteiros alternativos, em grande parte nunca realmente utilizados, por serem claramente mais custosos e longos que os efetivos. Após um dia dedicado à obtenção dos dados, e duas semanas gastas para sua verificação e correção, montou-se uma matriz de incidência.

O método de arranjo de matrizes escolhido foi o *Close Neighbour Algorithm - CNA* (Boe e Cheng, 1991). Este foi por ser mais eficiente que os outros dois analisados - ROC e ROC2 - (conforme Boe e Cheng, 1990) e de fácil aprendizado. Para sua utilização, foi implantado um programa computacional em Pascal, embora sua execução manual não fosse impossível.

Após a reordenação da matriz de incidência, a identificação das células não foi difícil: já havia uma idéia básica de qual deveria ser o agrupamento, e o resultado da matriz serviu de confirmação e refinamento desta idéia. O dimensionamento não foi feito por carga de máquinas, como deveria. As máquinas existentes foram alocadas às famílias de componentes a partir do

agrupamento feito sobre a matriz rearranjada, nas quantidades consideradas razoáveis pelos supervisores da área e pelo supervisor de PCP. Esta prática pode ser utilizada caso a quantidade de máquinas existentes de cada tipo não seja muito grande e o pessoal que fizer esta separação possua experiência suficiente para não cometer erros. A utilização de carga de máquinas, naquele momento, poderia ser entendida como duvidar da capacidade e do conhecimento destas pessoas, algo que a equipe de assessoria externa não desejava.

Na verdade, a formação das famílias foi a primeira atividade de real participação de todas as pessoas da equipe, e seu resultado foi considerado muito bom. A segunda etapa de grande participação foi o desenho das células.

5.8. O Desenho das Células

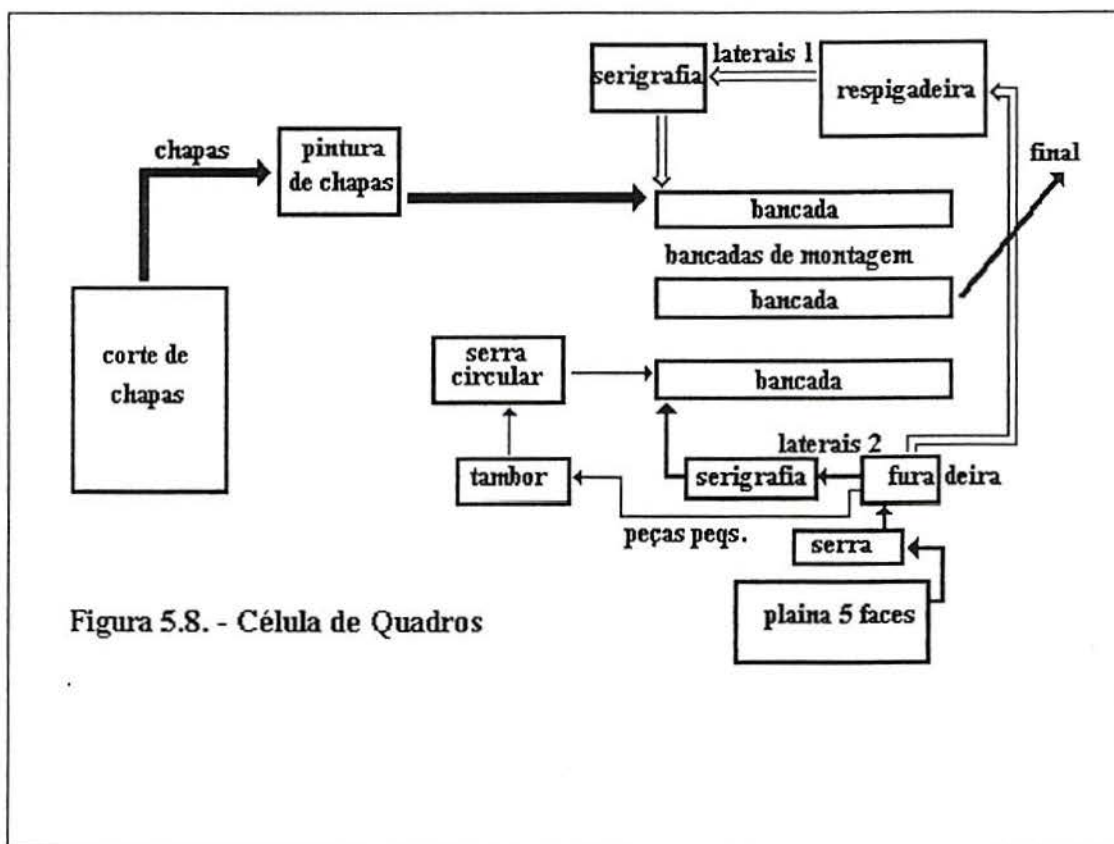
Como resultado da etapa anterior, foram identificadas quatro células na área de madeira:

- quadros (quadros de escrever, tabelas de basquete e mesas de botão);
- material de escritório e raquetes (de pingue-pongue e de praia)
- jogos de mesa (jogos de tabuleiro ou de caixa);
- jogos grandes (mini-sinuca, fla-flu, etc.).

A primeira atividade nesta etapa consistiu na escolha da célula piloto, ou seja, de qual célula, dentro da área piloto madeira, seria a primeira a ser implantada. Para isso, se fez um desenho inicial contendo a posição e o conteúdo das quatro células dentro do pavilhão da madeira (na verdade, ocupando agora apenas meio pavilhão). A célula de quadros assumiu uma forma geocêntrica (componentes entrando por três lados com a montagem no centro). As outras células seguiram estruturas lineares, sendo que as duas últimas no formato em 'U'. A célula de quadros foi escolhida como piloto, devido aos bons resultados esperados após sua instalação e à rapidez com que poderia ser montada.

A fabricação de quadros, mesas de botão e tabelas de basquete é realizada nesta empresa da seguinte forma: as peças são usinadas em máquinas diversas e montadas - a operação mais lenta e custosa - em grandes bancadas,

onde trabalham simultaneamente de quatro a oito operadores. De forma a suavizar o impacto que a fabricação em uma célula teria sobre a rotina destes trabalhadores - em termos de intensidade do trabalho, necessidade de auto-supervisão e coordenação do grupo, novos locais de trabalho, etc. - e para facilitar o fluxo de materiais e de pessoas internamente, foi projetada uma célula onde havia, ao centro, as bancadas de montagem e, ao redor, as máquinas de usinagem. O esquema desta célula é ilustrado pela figura 5.8. No sistema anterior, estes postos operativos estavam dispersos pela fábrica, num perímetro em torno de 12 vezes maior que o da célula.



O formato da célula deve seguir, antes de tudo, as especificações dos roteiros de produção, a seqüência de montagem, o fluxo de materiais e as especificações operacionais dos trabalhadores. As células para a fabricação de jogos de mesa e jogos grandes puderam seguir o modelo em 'U', considerado ideal na literatura, pois a seqüência de operação dos diversos produtos era muito semelhante. No caso dos quadros, o modelo apresentado foi considerado o mais adequado, o que se comprovou na prática, após a instalação.

O *layout* foi posto no papel e, a seguir, discutido em reunião com a diretoria, funcionários da área, e alguns outros funcionários de outras áreas. Após sua discussão e aprovação, iniciaram-se os preparativos para sua instalação.

5.9. A Implantação da Célula Piloto

No início da etapa de implantação efetiva da célula de quadros, isto é, o deslocamento das máquinas e bancadas de suas posições originais para o locais designados pelo projeto, foi elaborado um cronograma de implantação que buscasse orientar minimamente sobre os passos a serem seguidos, até que a célula estivesse operando similarmente a uma célula de manufatura prescrita na literatura (ver cap. 2).

Este cronograma foi elaborado em seis etapas, prevendo:

1. Mudança física do *layout*
2. Organização da área
3. Redução das preparações na plaina
4. Balanceamento do fluxo da célula
5. Redução de lotes e sincronização
6. Instalação de painel kanban

A primeira etapa foi realizada num final de semana. O pessoal da manutenção limpou a área, refez algumas instalações de energia e ar comprimido e transportou as máquinas para suas novas posições. As grandes máquinas envolvidas - plaina 5 faces e cortadora de chapas - mantiveram-se em suas posições originais. O desenho da célula já havia sido elaborado de forma a manter estas máquinas em suas posições, haja vista o alto custo de seu deslocamento. Na segunda feira, os trabalhadores puderam reiniciar suas atividades normalmente, em um novo local, ainda dentro do sistema de gerenciamento tradicional.

Na segunda etapa, buscou-se organizar fisicamente a área. Foram determinados os locais para a armazenagem de materiais e ferramentas. Os corredores de acesso para caixas, gaiolas e pessoas foram limpos e demarcados. As mesas de montagem foram melhor posicionadas, sendo invertidas algumas posições de trabalho, conforme os novos pontos de entrega dos componentes. Foram refeitos alguns dispositivos auxiliares para a montagem, entre outros ajustes. Esta etapa contou fortemente com a participação dos trabalhadores da área, que puderam, assim, arranjar o seu local de trabalho na forma por eles considerada adequada. Além disso, a implantação da célula abriu espaço para a colocação de demandas anteriores dos trabalhadores, como melhorias nas ferramentas, locais de armazenagem de

materiais, etc. Isto também contribuiu ao sucesso do projeto entre os trabalhadores.

Quanto ao problema do *set-up* na plaina, explicado anteriormente, este afetaria apenas as laterais dos quadros. Como havia sido planejado, buscou-se preliminarmente estudar a possibilidade de padronizar as medidas das diversas laterais existentes (dez modelos), de forma a permitir a produção em pequenos lotes mantendo o número de trocas tradicionalmente realizadas em um dia. Uma plaina 5 faces é utilizada para cortar uma determinada peça em 5 pontos: lado esquerdo e lado direito (largura), face superior e face inferior (espessura) e, finalmente, um corte de profundidade, formando um friso na face inferior. Este friso servirá para o encaixe da lateral na chapa, formando o quadro. Ora, o problema principal de ajuste na plaina corresponde à mudança da posição das ferramentas de corte quando a peça a ser usinada tem largura, espessura e/ou profundidade diferente da anterior, e existiam dez combinações destas dimensões, correspondentes a dez tamanhos de chapa, formando dez tamanhos de quadros diferentes. Após um estudo, verificou-se que, dos quadros 01 a 05, e dos quadros 06 a 10, as medidas de espessura, largura e profundidade das laterais poderiam ser as mesmas, visto que só existiam duas espessuras de chapas. O comprimento das laterais é que se manteria variável, mas este corte é feito por uma serra. Partiu-se, então para esta nova configuração. Desta forma, reduziu-se a 1/5 o número de ajustes a serem realizados em um dia, dado um tamanho fixo de lote. Como mais tarde se reduziu o tamanho do lote em 1/10, o número de ajustes diários, em relação ao inicial, foi apenas multiplicado por dois.

O balanceamento do fluxo buscou, simplesmente, preparar e educar as pessoas para o trabalho num sistema de produção puxada. Isto era importante, visto que pretendíamos implantar um painel kanban ligando esta célula à expedição, e este sistema era inteiramente desconhecido tanto pela gerência como pelo chão-de-fábrica. Foram provisoriamente instaladas algumas caixas entre as duas serigrafias, a serra circular e a pintura a rolo (os postos imediatamente anteriores à montagem), e foi pedido aos operadores destas máquinas que não produzissem além do necessário para encher a estas caixas. Quando o pessoal das bancadas as esvaziava, elas automaticamente eram enchidas. Este sistema durou até a instalação do painel kanban, quando tornou-se desnecessário.

O próximo passo foi o de calcular um novo tamanho para os lotes de produção, visto que os de transferência já haviam sido forçosamente minimizados. Dada a nova proximidade entre os postos fornecedores e clientes, devido à instalação da célula, e dado os baixos tempos de preparação normalmente pertinentes às máquinas universais que trabalham com madeira, foi possível, num primeiro momento (e assim está até o presente) reduzir em 1/10 o tamanho dos lotes de fabricação dos itens produzidos nesta célula. Isto foi uma grande novidade em uma empresa fortemente voltada à filosofia de produção em grandes lotes.

Com a redução dos lotes de transferência e de fabricação, a célula tornou-se totalmente sincronizada a nível interno, faltando o complemento desta sincronização com o mundo exterior, isto é, fornecedores e expedição. O trabalho com os fornecedores ainda não foi iniciado. Quanto à expedição, faltava, no caso, a instalação de um sistema kanban de produção e movimentação de materiais acabados.

Para a instalação do painel e dos cartões, a última etapa de nosso cronograma, fizemos inicialmente um pequeno curso, explicando seu funcionamento, com a participação, em sala de aula, da média gerência da empresa e, no próprio local de trabalho, do chão-de-fábrica. Este curso foi acompanhado por um folheto explicativo. O cálculo do valor e número dos cartões foi realizado pelo supervisor de PCP. Para uma fábrica de madeiras, a confecção do quadro e dos cartões foi muito simples. Foram instalados dois quadros: um na célula e outro (quadro espelho) na expedição. A rotina foi rapidamente apreendida por ambas as pontas, e tornou-se um paradigma para o restante da empresa, dados os resultados que a combinação células de manufatura mais produção puxada proporcionaram.

5.10. Resultados Obtidos

O levantamento dos dados que pudessem indicar os resultados obtidos foram realizados em duas etapas: na fase de análise da área piloto, quatro meses antes da efetiva implantação, relativos à fase funcional e um mês após o final do cronograma de implantação, dando medida do sistema celular. Basicamente, os resultados obtidos na célula de quadros foram:

indicador	<i>layout</i> funcional	<i>layout</i> celular	variação %
perda de material	5%	3%	-40%
retrabalhos	30%	5%	-83,4%
no. máximo de diferentes produtos num mesmo dia	3	10	233%
estoque intermediário	média 7500 un.	média 600 un.	-92%
estoque final	3.778 (31/08/92)	2.602 (31/08/93)	-31,1%
lote de produção	100-1000 peças	51-102 peças	-50% a -90%
<i>lead-time</i> (do pedido à entrega)	média 15 dd	média 3 dd	-80%
reclamações dos clientes devido a atrasos de entrega	freqüentes	inexistentes	-----
área ocupada	320 m ²	180 m ²	-43,75%

Tabela 5.10. Resultados obtidos na célula de quadros.

Os resultados obtidos são similares a casos práticos citados na literatura (Harmon e Peterson, 1990), e melhores que os esperados pelo pessoal da empresa. Esta tabela, quando apresentada ao restante da fábrica, causou um bom impacto e, a princípio, diminuiu a descrença existente entre o pessoal do plástico.

5.11. Conclusões

O projeto piloto teve, basicamente, duas funções: dar início ao processo de reconversão do sistema produtivo e formar a equipe capaz de dar continuidade ao projeto após a saída da equipe externa. Concluída esta etapa, os resultados obtidos nos dois vértices foram considerados suficientes para tal. A equipe externa, após outubro de 1993, iniciou uma fase de acompanhamento à distância, com o simples objetivo de verificar se os objetivos definidos pelo próprio pessoal da fábrica estão sendo cumpridos.

A continuidade da implantação das três células restantes na madeira é um processo realmente simples. O *layout* básico destas já foi desenhado e aprovado. Os trabalhadores destas áreas estão motivados, a partir daquilo que viram na área de quadros. O custo e o tempo envolvidos na mudança destas áreas são relativamente baixos. Foi elaborado um cronograma, prevendo a implantação da célula de jogos de mesa em janeiro de 1994, da célula de jogos grandes em abril de 1994 e da célula de material de escritório em julho de 1994. Os resultados esperados para estas células são semelhantes àqueles obtidos na célula de quadros.

Nas áreas restantes (plásticos, metalúrgica, montagem e material esportivo), o processo tenderá a ser diferenciado. O tempo que cada uma destas áreas levará até sua reconversão depende diretamente do interesse e capacidade das pessoas envolvidas de levarem o projeto adiante. Na montagem, já existe uma célula piloto em bom funcionamento. Na metalúrgica, já foi elaborado um projeto de *layout*, ainda não efetivado. No plástico, o processo, segundo o entendimento da empresa, deverá ser precedido por uma discussão sobre alguns aspectos técnicos, principalmente no sistema de pintura. Na área de material esportivo, a mais recente da empresa, o processo ainda não foi iniciado.

Em relação ao cronograma apresentado no Capítulo 4, o projeto piloto seguiu as três fases do modelo: preparação, definição e implantação. Na área de madeira, devido ao fato do *layout* nas três células já ter sido elaborado e discutido, basta agora aos supervisores a execução apenas da fase de implantação. No restante da empresa, são necessárias as fases de definição e implantação.

O sucesso obtido até aqui na implantação da manufatura celular nesta empresa ocorreu devido a três fatores principais: interesse do pessoal envolvido, adequação técnica para a realização do projeto e, principalmente, a utilização de uma metodologia de procedimentos lógica, realista e objetiva, o que deveria ser a base para qualquer projeto de implantação tecnológica.

6. Conclusões

Tecnologia de Grupo e Manufatura Celular são dois conceitos distintos, mas interrelacionados. Fazem parte de um modelo de sistema produtivo que ocupou um grande espaço na economia industrial após as alterações ocorridas nos mercados competitivos a partir dos anos 70. A reformulação dos sistemas produtivos de uma lógica funcional para uma lógica de grupos é coerente com a mudança no paradigma de eficácia destes mesmos sistemas, de um conceito unidimensional (eficácia = produtividade) para um conceito multidimensional (eficácia = custos + qualidade + flexibilidade + inovação + serviços).

A Tecnologia de Grupo encontra-se hoje bem disseminada, em grande parte por ser a base para, talvez, a totalidade das chamadas 'tecnologias avançadas de manufatura (AMTs), pois estas sempre partem de uma lógica de grupos. Desta forma, a Tecnologia de Grupo, embora tenha como principal aplicação, na área de processos, a formação de famílias para a implantação da Manufatura Celular, também é útil às áreas de projetos e de gerenciamento.

A Manufatura Celular surgiu como um modelo de *layout* que, em certo sentido, é uma combinação conveniente entre os modelos linear (fordista) e funcional (taylorista). Por esta razão, sua principal aplicação se dá em sistemas de médias variedades e médios lotes, no campo da chamada *manufatura flexível*, em contraste com os sistemas *universais (job-shop)*, de altas variedades e pequenos lotes, e *dedicados (flow-shop)*, de produção de massa,

de baixas variedades e grandes lotes, onde os sistemas funcional e linear, respectivamente, ainda se aplicam.

O objetivo central deste trabalho foi a apresentação e discussão de uma metodologia genérica de implantação da Manufatura Celular, com ênfase nas diversas atividades e técnicas associadas a cada etapa desta implantação.

Uma metodologia genérica abre a possibilidade de que determinado usuário, responsável pela implantação da Manufatura Celular, possa planejar e organizar antecipadamente sua intervenção, de forma sistematizada e lógica. Cada passo posterior se baseia em dados de um passo anterior. Cada etapa recebe uma argumentação tanto formista (individual, descritiva) como contextualista (localização no sistema). São apontadas, nas atividades em que isto se faz necessário, referências externas, o que possibilita aos usuários da metodologia a extensão conveniente de seus estudos.

A metodologia foi desenvolvida a partir de diversos trabalhos teóricos e de uma aplicação prática, buscando, assim, ser ao mesmo tempo bem fundamentada conceitualmente e ajustada à realidade de nossa indústria. Naturalmente, como bem aponta Karl Popper (1980), uma aplicação prática ou mesmo dezenas destas não seriam suficientes para, num exercício de indução lógica, concluir-se com absoluta certeza que a metodologia é adequada a qualquer caso que possa surgir, simplesmente porque o método indutivo nunca nos dá esta certeza. A utilização do caso prático e sua apresentação no Capítulo 5 serviram, portanto, para a argumentação sobre a consistência lógica da metodologia, sua possível aplicabilidade e para a fundamentação a diversas colocações que aí foram feitas.

A metodologia é genérica, e, por ser genérica, não pode cobrir todas as possibilidades particulares a cada caso específico. Portanto, cabe aos usuários da metodologia a adaptação conveniente desta ao seu caso em particular, além do estudo aprofundado, a partir das referências apontadas, das etapas consideradas por cada um necessárias (especialmente no que tange às técnicas de agrupamento, discutidas no Capítulo 3).

Este trabalho foi apresentado em quatro capítulos, além da introdução e destas conclusões.

No Capítulo 2, foram apresentadas as bases conceituais da Tecnologia de Grupo e da Manufatura Celular. Como foi dito, estes dois conceitos são

distintos, fazem parte de categorias distintas (o primeiro é um princípio ou uma coleção de técnicas, o segundo é um modelo de *layout* fabril). No entanto, em termos de paradigma da engenharia de produção, estes conceitos são complementares.

No Capítulo 3 foram apresentadas as principais técnicas voltadas ao agrupamento dos componentes de um sistema em famílias ou células. A classificação proposta tem o objetivo de facilitar o entendimento do usuário sobre a natureza destas técnicas, a posição de cada uma num 'universo' da Tecnologia de Grupo e os mecanismos por elas utilizados para a realização do agrupamento. Este entendimento pode facilitar o processo de escolha e aprendizado destas técnicas nos casos práticos. As referências apresentadas são suficientes para o aprendizado das técnicas, mesmo porque, em sua maioria, referem-se às publicações originais de seus autores. Adicionalmente, foram tratados neste capítulo métodos de avaliação do agrupamento e técnicas para o desenho das células, após o agrupamento.

O Capítulo 4 foi destinado à apresentação e detalhamento da metodologia proposta, discutida acima. O objetivo da apresentação nesta parte do trabalho foi o de permitir ao usuário o entendimento prévio dos conceitos (no Capítulo 2) e das técnicas (no Capítulo 3), antes do estudo da metodologia propriamente dita.

Após a apresentação da metodologia, o trabalho se encerra com o caso prático no Capítulo 5. O principal objetivo da apresentação do caso prático foi o de permitir a argumentação da consistência da metodologia, através do relato dos principais fatos ocorridos no exemplo, não se tratando de um *estudo de caso* mas, mais propriamente, de uma descrição do *ambiente que serviu de laboratório ao desenvolvimento da metodologia proposta*. Por esta razão, a discussão do caso é posterior ao Capítulo 4, e fecha o trabalho.

As conclusões restantes obtidas ao longo deste trabalho, com ênfase ao processo de implantação da Manufatura Celular, são:

1. A utilização de uma metodologia de suporte e orientação à implantação das células de manufatura pode contribuir positivamente a esta atividade. O principal benefício desta utilização é a contribuição ao planejamento e organização lógica e estruturada da intervenção, antecipando-se problemas, selecionando-se recursos, preparando-se as pessoas envolvidas.

2. Os fatores fundamentais ao sucesso do projeto são três: técnico, econômico e humano. Se qualquer um destes não for considerado preliminarmente ou inviabilizar a execução total ou parcial do projeto, o projeto será inviabilizado como um todo, preliminar ou posteriormente.
3. A implantação inicial em uma área piloto é uma prática essencial, a menos que a empresa seja realmente de pequeno porte. Sempre que for possível identificar a priori a existência de mais de uma área específica em uma empresa, a lógica de área piloto entra em ação.
4. Nas estruturas de médias variedades e médios lotes, os resultados de uma implantação criteriosa da manufatura celular são realmente superiores em performance aos apresentados pela lógica funcional.
5. Sem o efetivo interesse da alta e média gerência em reformular seu *layout*, é inviável a aplicação satisfatória da manufatura celular em qualquer ambiente.
6. Mesmo num sistema de altas variedades e pequenos lotes a aplicação das técnicas de agrupamento de Tecnologia de Grupo é possível. A provável conclusão que esta aplicação trará é a de que não há um conjunto adequado de máquinas possível de ser subdividido em células de manufatura, embora haja um provável agrupamento razoável dos componentes. Em um sistema de produção de massa, haverá provavelmente uma célula coerentemente agrupada ao final, a qual será a própria linha de produção da fábrica.

SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

Apesar da extensa difusão e do volume de trabalhos publicados sobre Tecnologia de Grupo e Manufatura Celular a nível industrial, o estudo sobre estes conceitos a nível regional encontra-se pouco difundido.

Com o objetivo de estimular este estudo, e na tentativa de estender e complementar o que aqui foi apresentado, pode-se sugerir alguns temas nesta área que poderiam servir de base a novos trabalhos:

1. A inserção da manufatura celular na estratégia de manufatura da empresa. Poderiam ser realizados estudos que objetivassem identificar o posicionamento do layout celular a partir de determinadas estratégias de manufatura adotadas por uma empresa. Isto significaria a inserção da manufatura celular num contexto amplo de competitividade industrial.

2. A revisão e discussão de técnicas avançadas de agrupamento, como as que utilizam redes neurais, matemática difusa ou sistemas especialistas. Estas técnicas tendem a ocupar cada vez maior espaço no campo teórico e prático, e necessitam ser dominadas em nosso contexto nacional, a exemplo do que foi feito há alguns anos em relação às técnicas clássicas de agrupamento.

3. O desenvolvimento de métodos específicos para o gerenciamento de células de manufatura, especialmente os relacionados à programação e controle da produção. É preciso que sejam desenvolvidos ou adaptados novos métodos de programação, seqüenciamento, custeio e controle da produção, entre outros, pois um novo modelo de organização do processo produtivo tende a exigir novas práticas.

4. A evolução das células de manufatura tradicionais para sistemas de maior base tecnológica, como sistemas flexíveis de manufatura, é um fato. É necessário que sejam revisados os principais estudos relativos a FMS e CIM pois, a menos a nível teórico, estes modelos já ocupam o maior espaço nesta área a nível internacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ASKIN, R. et al. A Hamiltonian Path approach to reordering the part-machine matrix for cellular manufacturing. *International Journal of Production Research*, v.29, n.6, p.1081-1100, 1991.
- 2 BALASUBRAMANIAN, K.N.; PANNEERSELVAN, R. Covering technique-based algorithms for machine grouping to form manufacturing cells. *International Journal of Production Research*, v.31, n.6, p.1479-1504, 1993.
- 3 BALLAKUR, A.; STEUDEL, H.J. A Within-Cell based heuristic for design Cellular Manufacturing Systems. *International Journal of Production Research*, v.25, n.5, p.639-665, 1987.
- 4 BEATTY, C.A. Implementing Advanced Manufacturing Technologies: Rules of the road. *Sloan Management Review*, p.49-60, Summer 1992.
- 5 BOCTOR, F. A linear formulation of the machine-part cell formation problems. *International Journal of Production Research*, v.29, n.2, p.343-356, 1991.
- 6 BOE, W.J.; CHENG, C.H. A Close Neighbour Algorithm for designing cellular manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, v.29, n.10, p.2097-2116, 1991.
- 7 BURBIDGE, J.L. Production Flow Analysis. *The Production Engineer*, p.139-152, Apr./May 1971.
- 8 BURBIDGE, J.L. A manual method of Production Flow Analysis. *The Production Engineer*, p.34-38, Oct. 1977.
- 9 BURBIDGE, J.L. Change to Group Technology: process organization is obsolete. *International Journal of Production Research*, v.30, n.5, p.1209-1219, 1992.
- 10 BURBIDGE, J.L.; FALSTER, P.; RIIS, J.O. Why is difficult to sell Group Technology and Just-in-Time to industry? *Production Planning and Control*, v.2, n.2, p.160-166, 1991.
- 11 BURGESS, A.G.; MORGAN, I.; VOLLMANN, T.E. Cellular manufacturing: its impact on the total factory. *International Journal of Production Research*, v.31, n.9, p.2059-2077, 1993.
- 12 CHAN, H.M.; MILLER D.A. Direct Clustering Algorithm for group formation in cellular manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, v.1, p.64-76, 1982.

- 13 CHANDRASEKARAN, B.; RAJAGOLAPAN, R. An ideal seed Non-Hierarchical Clustering Algorithm for cellular manufacturing. *International Journal of Production Research*, v.24, n.2, p.451-464, 1986.
- 14 CHANDRASEKARAN, B.; RAJAGOLAPAN, R. ZODIAC - an algorithm for concurrent formation of part-families and machine cells. *International Journal of Production Research*, v.25, n.6, p.835-850, 1987.
- 15 CHANDRASEKARAN, B.; RAJAGOLAPAN, R. Groupability: an analysis of the properties of binary data matrices for Group Technology. *International Journal of Production Research*, v.27, n.6, p.1035-1052, 1989.
- 16 CHOI, M. Manufacturing cell design. *Production and Inventory Management Journal*, 2nd.Quarter, p.66-69, 1992.
- 17 CHU, C.; HAYYA, J.C. A Fuzzy Clustering approach to manufacturing cell formation. *International Journal of Production Research*, v.29, n.7, p.1475-1487, 1991.
- 18 CHU, C. Manufacturing cell formation by competitive learning. *International Journal of Production Research*, v.31, n.4, p.829-843, 1993.
- 19 DAHEL, N.E.; SMITH, S.B. Designing flexibility into cellular manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, v.31, n.4, p.933-945, 1993.
- 20 DOWNEY, B.S.; LEONARD, M.S. Assembly line with flexible workforce. *International Journal of Production Research*, v.3, n.3, p.469-483, 1992.
- 21 FREITAS, D.R. *Um ambiente para ensaio de Tecnologia de Grupo*. Porto Alegre: Instituto de Informática, 1992. 138p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação, UFRGS.
- 22 GAITHER, N.; FRAZIER, G.V.; WEI, J.C. From job-shops to manufacturing cells. *Production and Inventory Management Journal*, 4th.Quarter, p.33-37, 1990.
- 23 GALLAGHER, C.C.; KNIGHT, W.A. *Group Technology Production Methods in Manufacturing*. Chischester: Ellis Hoorwood, 1986.
- 24 GERWIN, D. Manufacturing flexibility: a strategic perspective. *Management Science*, v.39, n.4, p.395-410, 1993.

- 25 GOLDHAR, J.; JELINEK, M. Plan for economies of scope. *Harvard Business Review*, n.6, p.141-148, 1983.
- 26 GOLDRATT, E.M.; FOX, J. *A meta*. São Paulo: IMAM, 1986.
- 27 GROOVER, M.P. *Automation, production systems and Computer Integrated Manufacturing*. Englewood-Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1980.
- 28 GU, P.; EL-MARAGHY, H. Formation of manufacturing cells by Cluster-Seeking Algorithms. *Journal of Mechanical Working Technology*, v.20, p.403-413, 1986.
- 29 GUPTA, T. Design of manufacturing cells for flexible environment considering alternative routeing. *International Journal of Production Research*, v.31, n.6, p.1259-1273, 1993.
- 30 GYLLENHAMMAR, P.G. How Volvo adapts work to people. *Harvard Business Review*, n.4, p.102-113, 1977.
- 31 HAM, I. Introduction to Group Technology. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, 1976. (Technical Report, NMR 76-03)
- 32 HARMON, R.L.; PETERSON, L.D. *Reinventando a fábrica - conceitos modernos de produção aplicados na prática*. São Paulo: Campus, 1990.
- 33 HARVEY, R. Group Technology: revitalized by computer power. *Iron Age*, p.61-72, May 20, 1983.
- 34 HAY, E.J. *Just-in-Time - um exame dos novos conceitos de produção*. São Paulo: Maltese-Norma, São Paulo, 1992.
- 35 HERAGU, S.S. A heuristic algorithm for identifying machine cells. *Information and Decision Technologies*, 1991.
- 36 HIRSCH-KREISEN, M.; SCHULTZ-WILD, R. Implementation processes of new technologies: management objectives and interests. *Automatica*, v.26, n.2, p.429-433, 1990.
- 37 HO, Y.C.; CHING-EN, C.C.; COLIN, L.M. Two sequence pattern, matching-based, flow analysis methods for multi-flowlines layout design. *International Journal of Production Research*, v.31, n.7, p.1557-1578, 1993.
- 38 HYER, N.L.; WEMMERLOV, U. Group Technology and productivity. *Harvard Business Review*, n.4, p.140-149, 1984.

- 39 JOHNSON, R.V. Balancing assembly lines for teams and work groups. *International Journal of Production Research*, v.29, n.6, p.1205-1214, 1991.
- 40 KING, J.R. Machine-component grouping in Production Flow Analysis: an approach using a Rank Order Clustering algorithm. *International Journal of Production Research*, v.18, n.2, p.213-232, 1980.
- 41 KING, J.R.; NAKORNCHAI, V. Machine-component group formation in Group Technology: review and extension. *International Journal of Production Research*, v.20, n.2, p.117-133, 1982.
- 42 KUSIAK, A. The generalized Group Technology concept. *International Journal of Production Research*, v.25, n.4, p.561-569, 1987.
- 43 KUSIAK, A. EXGT-S: a knowledge based system for Group Technology. *International Journal of Production Research*, v.26, n.5, p.887-904, 1988.
- 44 KUSIAK, A.; CHO, M. Similarity coefficient algorithm for solving the Group Technology problem. *International Journal of Production Research*, v.30, n.11, p.2633-2646, 1992.
- 45 LARSEN, N.E.; ALTING, L. Criteria for selecting a production control philosophy. *Production Planning and Control*, v.4, n.1, p.54-68.
- 46 LEE, H., GARCIA-DIAZ, A. A Network Flow Approach for solve clustering problems in Group Technology. *International Journal of Production Research*, v.31, n.3, p.603-612, 1993.
- 47 LEVI, D.; SLEM, C.; YOUNG, A. The human impact of technological change: a study of the attitudes and beliefs of employees of manufacturing companies. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v.5, n.2, p.132-142, 1992.
- 48 LOGENDRAN, R. A workload based model for minimizing total intercell moves in cellular manufacturing. *International Journal of Production Research*, v.28, n.5, p.913-925, 1990.
- 49 LORINI, F.J. *Tecnologia de Grupo e organização da manufatura*. Florianópolis: UFSC, 1993.
- 50 MAHMOODI, F.; DOOLEY, K.J. Group scheduling and order releasing: review and foundations for research. *Production Planning and Control*, v.3, n.1, p.70-80, 1992.
- 51 MARTIN, T. The need for human skills in production - the case of Computer Integrated Manufacturing. *Computers in Industry*, v.14, p.205-211, 1990.

- 52 MARTIN, T.; ULICH, E.; WARNECKE, H.J. appropriate automation for flexible manufacturing. *Automatica*, v.26, n.3, p.611-616, 1990.
- 53 MASCHRZAK, A.; GASSER, L. Towards a conceptual framework for specifying manufacturing workgroups congruent with technological change. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v.5, n.2, p.118-131, 1992.
- 54 McCAULEY, J. Machine grouping for efficient production. *The Production Engineer*, p.53-57, Feb. 1972.
- 55 McCORMICK, W.T.; SCHWEITZER, P.J.; WHITE, T.W. Problem decomposition and data reorganization by a clustering technique. *Operations Research*, v.20, n.5, p.993-1009, 1972.
- 56 MEREDITH, J. The strategic advantages of the factory of the future. *California Management Review*, v.29, n.3, p.27-41, 1987.
- 57 MONDEN, Y. *El sistema de produccion de Toyota*. Buenos Aires: Ediciones Macchi, 1990.
- 58 MORRIS, J.S.; TERSINE R.J. A simulation analysis of factors influencing the attractiveness of Group Technology cellular layouts. *Management Science*, v.36, n.12, p.1567-1578, 1990.
- 59 MIYAKE, D. et al. Tecnologia de Grupo, manufatura celular e produtividade. *Anais do Enegep*, vol.1, p.145-151, 1990.
- 60 NG, S.M. Bond energy, rectilinear distance and a worst-case bound for the Group Technology problem. *Journal of the Operations Research Society*, v.42, n.7, p.571-578, 1991.
- 61 O'GRADY, P. Flexible Manufacturing Systems: present development and trends. *Computers in Industry*, v.12, p.241-251, 1989.
- 62 OPITZ, H.; WIENDAHL, H.P. Group Technology and manufacturing systems for small and medium quantity production. *International Journal of Production Research*, v.9, p.181-203, 1971.
- 63 OZDEMIREL, N.E.; MACKULAK, G.T.; COCHRAN, J.K. A Group Technology Classification and Coding scheme for discrete manufacturing simulation models. *International Journal of Production Research*, v.31, n.3, p.579-601, 1993.
- 64 PRICKETT, P.; COLEMAN, J. Implementation of a cell-based system for the manufacture of a range of louvre smoke ventilators. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v.5, n.1, p.18-23, 1992.

- 65 RAJAGOLAPAN, R.; BATRA, J.L. Design of cellular production systems: a Graph-Theoretic approach. *International Journal of Production Research*, v.13, n.6, p.567-579, 1975.
- 66 RIBEIRO, J.F.; PRADIN, B. A methodology for cellular manufacturing design. *International Journal of Production Research*, v.31, n.1, p.235-250, 1993.
- 67 RUBEN, R.A.; MOSIER, C.T.; MAHMOODI, F. A comprehensive analysis of group scheduling heuristics in a job shop cell. *International Journal of Production Research*, v.31, n.6, p.1343-1369, 1993.
- 68 SARAPH, J.V.; SEBASTIAN, R.J. Human resources strategies for effective introduction of Advanced Manufacturing Technologies. *Production and Inventory Management Journal*, 1st.Quarter, p.64-70, 1992.
- 69 SEIFODDINI, H.; WOLFE, P.M. Application of the similarity coefficient method in Group Technology. *IEE Transactions - Industrial Engineering Research and Development*, v.18, n.3, p.271-277, 1986.
- 70 SEVIER, A.J. Managing employee resistance to Just-in-Time: creating an atmosphere that facilitates implementation. *Production and Inventory Management Journal*, 1st.Quarter, p.83-87, 1992.
- 71 SHAFER, S.M.; KERN, G.M.; WEI, J.C. A mathematical programming approach for dealing with exceptional elements in cellular manufacturing. *International Journal of Production Research*, v.30, n.5, p.1029-1036, 1992.
- 72 SHAFER, S.M.; ROGERS, D.F. Similarity and distance measures for cellular manufacturing. Part I - a survey. *International Journal of Production Research*, v.31, n.6, p.1133-1142, 1993(a).
- 73 SHAFER, S.M.; ROGERS, D.F. Similarity and distance measures for cellular manufacturing. Part II - an extension and comparison. *International Journal of Production Research*, v.31, n.6, p.1315-1326, 1993(b).
- 72 SHINGO, S.A. *Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Cambridge, Mass.: Productivity Press, 1985.
- 74 SHTUB, A. Lot sizing in MRP/GT systems. *Production Planning and Control*, v.1, n.1, p.40-44, 1990.
- 75 SKINNER, W. The focused factory. *Harvard Business Review*, n.3, p.113-121, 1974.

- 76 SLACK, N. Measuring Manufacturing Flexibility. In: *CONGRÈS INTERNATIONAL DE GENIE INDUSTRIEL*, 2., 1988, Nancy. V.1, p.509-518.
- 77 SRINIVASAN, G.; NARENDRAN, T.T. GRAFICS - a nonhierarchical clustering algorithm for Group Technology. *International Journal of Production Research*, v.29, n.3, p.463-478, 1991.
- 78 STALK, G. Time - the next source of competitive advantage. *Harvard Business Review*, n.4, p.41-51, 1988.
- 79 STANFEL, L.E. Machine clustering for economic production. *Operations Research*, v.20, n.5, p.993-1009, 1985.
- 80 SUNDARAN, R.M. Cellular manufacturing - some design considerations. In: RADHARAMANAN, R. (Ed). *Robotics and factories of the future*. New York: Springer Verlag, 1987.
- 81 TATIKONDA, M.V.; WEMMERLOV, U. Adoption and implementation of Group Technology classification and coding systems: insights from seven case studies. *International Journal of Production Research*, v.30, n.9, p.2087-2110, 1992.
- 82 VALLE, R. *Tecnologia, estratégia, cultura técnica: três dimensões para a modernização da indústria brasileira*. Rio de Janeiro: COPPE - UFRJ [198_]. Mimeo.
- 83 VANELLI, A.; KUMAR, K.R. A method for finding minimal bottle-neck cells for grouping part-machine families. *International Journal of Production Research*, v.24, n.2, p.387-400, 1986.
- 84 VENKATESAN, R. Cummins engine flexes its factory. *Harvard Business Review*, n.2, p.120-127, 1990.
- 85 WEI, J.C.; GAITHER, N. An optimal model for cell formation decisions. *Decision Sciences Journal*, v.21, n.2, p.416-433, 1990.
- 86 WILLEY, D.T. Automation technology: past, present and future. *Production and Inventory Management Journal*, 4th.Quarter, p.10-19, 1986.
- 87 WU, N.; SALVENDY, G. A modified network approach for the design of cellular manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, v.31, n.6, p.1409-1421, 1993.