

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

SILVIO ROMERO ADJAR MARQUES

**PROJETO DE LAYOUT INDUSTRIAL NO  
CONTEXTO JUST IN TIME AUXILIADO POR  
COMPUTADOR**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia.

Florianópolis

Outubro / 1993

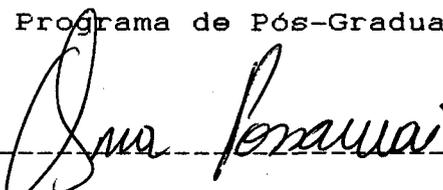


0.215.126-7

# PROJETO DE LAYOUT INDUSTRIAL NO CONTEXTO JUST IN TIME AUXILIADO POR COMPUTADOR

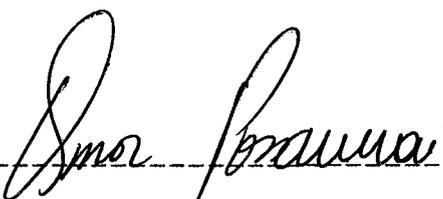
**SILVIO ROMERO ADJAR MARQUES**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do  
Título de Mestre em Engenharia.  
Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada em sua  
forma final pelo Programa de Pós-Graduação.



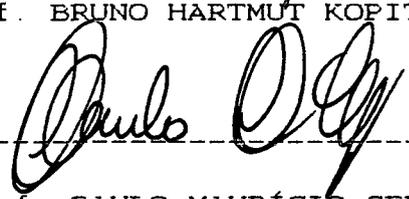
Prof. OSMAR POSSAMAI, Dr. Ing.  
Coordenador do Curso

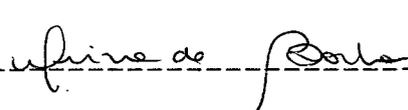
Banca Examinadora:



Prof. OSMAR POSSAMAI, Dr. Ing.  
Orientador

  
-----  
Prof. BRUNO HARTMUT KOPITTKE, Dr. Ing.

  
-----  
Prof. PAULO MAURÍCIO SELIG, Dr. Ing.

  
-----  
Profa. MIRNA DE BORBA, MSc.

## AGRADECIMENTOS

Na realização deste trabalho, houve a colaboração de uma série de pessoas. Agradeço a todas elas, e em especial a:

Meus pais, **Manoel** e **Terezinha**, e meu irmão **Samir**, pelo amor, compreensão e incentivo (desde 1967). Minha namorada e companheira **Angélica**, pelo amor e pelas palavras doces nos momentos difíceis. Meu orientador, prof. **Osmar Possamai**, por todo o aprendizado que me proporcionou ao longo deste período, através das observações críticas quanto ao trabalho, sempre buscando alcançar o melhor resultado possível, e pelo exemplo. A banca examinadora, composta pelos professores **Bruno Kopittke**, que se mostrou sempre à disposição, **Mirna de Borba**, que me auxiliou na busca de bibliografia e **Paulo Selig**, pelo apoio na solução dos problemas. Os membros do **Grupo de Engenharia e Análise do Valor (GAV)**, que demonstraram que uma dissertação de mestrado pode ser o resultado de um trabalho conjunto: **Dante Juliatto**, pela dedicação integral na aplicação prática do trabalho, **Jorge Destri**, pelo auxílio intensivo na codificação dos algoritmos, **Ronaldo Lopes** e **Sandro Souza**, pela organização da palestra sobre o tema do trabalho, e a todos os demais membros do grupo. Os companheiros de Mestrado **Jane Gaspar**, **Guillermo Alvarado**, **Nebel**, **José Carlos**, **Márcio Tanferri**, **Alcides Germano** e **Enzo Martorano**, pelos bons momentos compartilhados. A **Empresa-piloto**, por todo o apoio e infra-estrutura e por permitir o acesso a todos os setores, possibilitando a obtenção de dados para alimentar o modelo. O **Instituto Euvaldo Lodi**, na pessoa de sua superintendente, sra. **Luciana Malagutti**, pela viabilização do contato com a empresa-piloto. A **CAPES**, pelo auxílio financeiro. **Isaac Benchimol**, pelas boas (e sensatas) idéias. Os srs. **Altigran Silva**, **Douglas Nakano**, **Edson Fernandes Jr.**, **Haggéas Fernandes**, **Hernande Mustafa** e **Marcos Massena**, pelo incentivo e amizade.

## RESUMO

O layout industrial é um elemento de grande importância para os sistemas de produção. Com um layout eficiente é possível racionalizar os esforços para a agregação de valor aos produtos, através da diminuição de atividades que não contribuem para esta adição de valor. Exemplos destas atividades são o transporte de produtos em processamento, o fluxo de produção em "contracorrente" e os estoques intermediários.

No sistema de produção "Just in Time", o layout industrial, além de reduzir o número de atividades que não agregam valor, deve também possibilitar a flexibilização dos meios de produção e a integração da manufatura, atributos que podem implicar em vantagem competitiva em relação a empresas concorrentes, pois dotam a fábrica de uma grande velocidade de resposta frente às exigências do mercado.

O uso do computador para o projeto do layout industrial deve-se ao fato de que por meio deste é possível sistematizar o processo de projeto, permitindo que as tomadas de decisão sejam feitas de acordo com regras claras e bem definidas, além de ser possível contar com extensas bases de dados. O modelo computacional desenvolvido neste trabalho visa superar alguns pontos fracos apresentados por "softwares" já existentes que se dedicam ao projeto do layout industrial, além de inserir este projeto no contexto do sistema Just in Time.

## ABSTRACT

The layout of facilities is an element of major importance to the production systems. By means of an efficient layout it is possible to rationalize the efforts for the aggregation of value to the products, through the reduction of activities that do not contribute to this addition of value. Examples of these activities are the transport of materials, the production flow "against the stream" and the Work In Process.

In the "Just in Time" production system, the facilities layout, besides reducing the number of activities that do not aggregate value, must also allow the flexibilization of the production resources and the integration of manufacture, attributes that may result in competitive advantage when comparing to the competitors, seeing that they endow the enterprise with a great velocity of response opposite to the consumers' demand.

The use of the computer to the facilities layout design is a result of the fact that by its means it is possible to standardize the design process, allowing the decisions to be made accordingly to clear and well defined rules and having the possibility to count on extensive databases. The software developed in this work aims to overcome some deficiencies that arise in the existing softwares that are dedicated to the facilities design, besides including the layout design in the Just in Time context.

## SUMÁRIO

Página

### CAPÍTULO 1

1 - INTRODUÇÃO.....	1
---------------------	---

### CAPÍTULO 2

2 - O LAYOUT INDUSTRIAL NO CONTEXTO DA MANUFATURA INTEGRADA E DO JUST IN TIME.....	5
2.1 - A AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL.....	5
2.2 - A INTEGRAÇÃO DA MANUFATURA.....	10
2.3 - O JUST IN TIME.....	13
2.4 - O LAYOUT NO CONTEXTO DO CIM.....	19
2.5 - O LAYOUT NO CONTEXTO DO JUST IN TIME.....	21

### CAPÍTULO 3

3 - ABORDAGENS PARA O PROBLEMA DO LAYOUT INDUSTRIAL..	23
3.1 - CARACTERÍSTICAS DO LAYOUT INDUSTRIAL.....	23
3.2 - A TECNOLOGIA DE GRUPO E O LAYOUT INDUSTRIAL.....	29
3.3 - ABORDAGENS DO PROBLEMA DO LAYOUT INDUSTRIAL.....	35
3.3.1 - Métodos Sistemáticos.....	35
3.3.2 - Métodos Heurísticos.....	41
3.3.3 - Teoria dos Grafos.....	50
3.3.4 - Conjuntos Difusos.....	53
3.3.5 - Simulação.....	55
3.3.6 - Programação Quadrática.....	56
3.3.7 - Sistemas Especialistas.....	57

3.4 - SOFTWARES PARA O PROJETO DO LAYOUT	
INDUSTRIAL.....	59
3.4.1 - Programas para o layout de	
setores.....	62
3.4.1.1 - CRAFT.....	62
3.4.1.2 - CORELAP.....	63
3.4.1.3 - ALDEP.....	64
3.4.1.4 - RMA - COMP I.....	65
3.4.1.5 - PLOPCO.....	66
3.4.1.6 - LSP.....	67
3.4.1.7 - MAT.....	67
3.4.1.8 - PLANET.....	68
3.4.1.9 - H63.....	69
3.4.1.10 - FRAT.....	70
3.4.1.11 - FATE.....	71
3.4.1.12 - INLAYT.....	71
3.4.1.13 - DISCON.....	73
3.4.1.14 - MUGHAL.....	73
3.4.1.15 - FALSA.....	74
3.4.1.16 - FLAC.....	75
3.4.1.17 - GASOL.....	75
3.4.1.18 - BLOCPLAN.....	76
3.4.1.19 - MATCH.....	76
3.4.1.20 - FLUKES.....	77
3.4.1.21 - MOCRAFT.....	78
3.4.1.22 - IFLAPS.....	79
3.4.1.23 - COMLAD II.....	80
3.4.1.24 - FLAG.....	80
3.4.1.25 - FACLO.....	81
3.4.2 - Programas para o layout	
de máquinas.....	82
3.4.2.1 - CDUPL.....	82
3.4.2.2 - INDECS.....	83
3.4.2.3 - UA1/UA2/UA3.....	84
3.4.2.4 - FLAT.....	84

3.4.2.5 - FADES.....	85
3.4.2.6 - EXSYS.....	86
3.4.2.7 - KBML.....	87
3.4.3 - Avaliação dos softwares apresentados.....	88
 CAPÍTULO 4	
4 - HIPÓTESES UTILIZADAS NO MODELO COMPUTACIONAL.....	90
4.1 - ESCOLHA DOS MÉTODOS MATEMÁTICOS PARA UTILIZAÇÃO NO MODELO.....	92
4.2 - ALGORITMOS PARA AGRUPAMENTO DE CÉLULAS.....	95
4.2.1 - Algoritmo de Agrupamento por Ordem de Ranking.....	97
4.2.2 - Algoritmo Linear para Agrupamento de Células.....	99
4.3 - MEDIDAS DE EFICIÊNCIA E EFICÁCIA DE UM ARRANJO CELULAR.....	101
4.4 - MÉTODO DOS ELOS.....	104
4.5 - CÁLCULO DE ÁREAS MÍNIMAS.....	105
 CAPÍTULO 5	
5 - O MODELO COMPUTACIONAL.....	109
5.1 - CARACTERÍSTICAS DO MODELO COMPUTACIONAL.....	109
5.2 - VISÃO GERAL DO MODELO.....	111
5.3 - MÓDULO DE PROJETO DO NOVO LAYOUT.....	118
5.3.1 - Cálculo das células de fabricação.....	119
5.3.1.1 - Cálculo das células de fabricação pelo Método ROC.....	120
5.3.1.2 - Cálculo das células de fabricação pelo Método do Algoritmo Linear para o	

Agrupamento de células.....	126
5.3.2 - Cálculo da Eficiência e Eficácia dos arranjos obtidos.....	128
5.3.3 - Verificação dos valores de Eficiência e Eficácia.....	129
5.3.4 - Projeto do layout pelo Método dos Elos.....	130
5.4 - MÓDULO DE ALOCAÇÃO DAS MÁQUINAS NO NOVO LAYOUT.....	132
CAPÍTULO 6	
6 - APLICAÇÃO PRÁTICA DO MODELO.....	140
6.1 - A EMPRESA-PILOTO.....	140
6.2 - O SETOR-GARGALO.....	141
6.3 - APLICAÇÃO DO MODELO.....	144
6.4 - MELHORIAS ALCANÇADAS.....	154
CAPÍTULO 7	
7 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	156
7.1 - ANÁLISE DAS PESQUISAS REALIZADAS.....	156
7.2 - RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO.....	158
7.3 - SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	160
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	162
BIBLIOGRAFIA.....	169

## LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1: Comparação entre o Just in Time e o Sistema Tradicional de Produção.....	17
Quadro 2: Códigos das inter-relações entre máquinas no Método SLP.....	40
Quadro 3: Avaliação dos softwares em relação aos requisitos de projeto.....	89
Quadro 4: Avaliação dos métodos de projeto de layout em relação aos requisitos a), b) e c).....	94
Quadro 5: Valores do coeficiente k para o cálculo de Áreas Mínimas.....	108
Quadro 6: Agrupamento das Máquinas especiais em células e das peças em famílias.....	149
Quadro 7: Produção horária das peças nas Máquinas Especiais.....	150
Quadro 8: Seqüência de produção das peças.....	151
Quadro 9: Dimensões e número de lados efetivamente utilizados nas Máquinas Especiais.....	151

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Fig. 1: Componentes do CIM.....	12
Fig. 2: Arranjo Celular com movimentação semi-integrada.....	28
Fig. 3: Exemplo de classificação de uma peça segundo o Código de Opitz.....	31
Fig. 4: Aplicação do Método de Agrupamento na Tecnologia de Grupo.....	33
Fig. 5: Exemplo de um Grafo Planar.....	50
Fig. 6: Matriz de Incidência MI peças x máquinas.....	97
Fig. 7: Cálculo do ordenamento das linhas da Matriz de Incidência MI.....	98
Fig. 8: Cálculo do ordenamento das colunas da Matriz de Incidência MI.....	98
Fig. 9: Reordenamento de Matriz de Incidência MI e cálculo das células de máquinas e famílias de peças.....	99
Fig. 10: Fluxograma do programa PLIAC.....	112
Fig. 11: Fluxograma do Módulo (2) do programa PLIAC..	114
Fig. 12: Fluxograma geral do Módulo (3) do programa PLIAC.....	116
Fig. 13: Fluxograma do Módulo de Cálculo das Células de Fabricação.....	119
Fig. 14: Fluxograma do Módulo de Cálculo das Células pelo Método ROC.....	120
Fig. 15: Definição dos quadrados diagonais de uma Matriz MI.....	125
Fig. 16: Fluxograma do Método do Algoritmo Linear....	126
Fig. 17: Fluxograma do Método dos Elos.....	130
Fig. 18: Fluxograma do Módulo de Alocação das Máquinas no novo layout.....	133
Fig. 19: Exemplo de Matriz de Produção.....	134
Fig. 20: Layout existente no setor de usinagem.....	143
Fig. 21: Matriz de Incidência das Máquinas Especiais.	146

Fig. 22: Rearranjo da Matriz de Incidência das Máquinas Especiais.....	148
Fig. 23: Novo layout das Máquinas Especiais.....	154

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

O layout industrial pode ser definido como a disposição física de máquinas e equipamentos no interior de uma fábrica ou de um setor. As inter-relações entre os elementos do layout e a relação destes com o meio exterior é de grande importância para a agregação de valor aos produtos, para os custos de fabricação e para a produtividade dos operários.

O problema que se procura solucionar com este trabalho é o de se projetar o layout do setor produtivo de uma empresa, levando-se em conta as seguintes características:

- considerar o maior número possível de elementos que compõem o sistema produtivo, tais como produtos, máquinas, roteiros de produção, restrições físicas da edificação, mão-de-obra, materiais, etc;

- situar o projeto do layout no contexto do tipo de manufatura existente, para que o arranjo físico tenha características que permitam o funcionamento mais eficiente do sistema produtivo; e

- utilizar duas abordagens alternativas para o projeto do arranjo físico, escolhendo-se para implementação o método que apresentar maior eficiência em cada caso particular.

Não se encontra, na bibliografia pesquisada, nenhum software que leve em consideração estas características simultaneamente.

Os objetivos que se busca atingir são:

- criar um modelo computacional capaz de auxiliar o projeto de layout do setor produtivo de uma empresa, segundo parâmetros característicos do sistema de produção Just in Time;

- obter ganhos de qualidade e produtividade com o layout reprojeto;

- alcançar uma redução significativa nas atividades que não agregam valor aos produtos;

- desenvolver um algoritmo voltado para a solução de problemas reais, que seja adaptável à situação de cada empresa em particular; e

- possibilitar o acesso a informações atualizadas sobre o setor produtivo por parte dos outros setores da empresa.

Este trabalho também tem como proposta demonstrar a importância do projeto de layout industrial para alcançar a qualidade e minimizar as atividades não-agregadoras de valor e em consequência os custos de fabricação.

As limitações ao desenvolvimento do trabalho são as seguintes:

- dificuldade de acesso a programas de computador que realizam o projeto do layout industrial. Os dados obtidos sobre estes programas são todos originários da literatura;

- impossibilidade de se testar todas as linguagens de programação possíveis para a construção do modelo computacional;

e

- por se tratar da construção de um modelo original, a partir da reunião de algumas abordagens matemáticas, não serão desenvolvidos todos os seus módulos, em virtude do tempo requerido para tal e da necessidade de se limitar o escopo do trabalho.

A estrutura do trabalho encontra-se descrita a seguir.

No Capítulo 2, será dada uma introdução ao tema, situando o layout industrial no contexto do sistema de produção Just in Time e sob o ponto de vista da Automação Industrial e da Integração da Manufatura.

No Capítulo 3, procede-se um levantamento bibliográfico sobre

"layout industrial", destacando-se suas características, os tipos de arranjo físico existentes, as teorias matemáticas usadas para a modelagem e os softwares que já existem para auxiliar o projeto e o desenho do arranjo físico.

No Capítulo 4, encontram-se as hipóteses, algoritmos e modelos matemáticos a serem utilizados no modelo computacional, desenvolvido no capítulo 5. Apresenta-se razões para a escolha destes modelos em particular.

O Capítulo 6 descreve a aplicação prática do modelo na empresa-piloto, a partir da coleta de informações, o seu processamento e a obtenção dos resultados.

Finalmente, no Capítulo 7, analisam-se os resultados obtidos com o modelo e sugere-se alguns estudos visando o prosseguimento das pesquisas.

## **CAPÍTULO 2**

# **O LAYOUT INDUSTRIAL NO CONTEXTO DA MANUFATURA INTEGRADA E DO JUST IN TIME**

### **2.1 - A AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Os sistemas de produção são os responsáveis pelo processo de transformação de matérias-primas em produtos acabados. Neste processo, ocorre a agregação de valor aos materiais, desde que chegam à fábrica em seu estado bruto, até sua expedição, na forma de produtos prontos para o consumo. Em um processo produtivo, utilizam-se recursos de vários tipos, tais como mão-de-obra, equipamentos, energia e materiais. Um sistema de produção é tanto mais eficiente quanto menos recursos ele necessitar para produzir itens de qualidade. O objetivo deve ser o de minimizar os custos com os insumos de produção e maximizar a agregação de valor aos produtos.

A redução de custos de produção pode ser conseguida pela

**mecanização** de diversas operações, onde as máquinas passam a fazer certas tarefas no lugar do homem, conseguindo maior eficiência. Por eficiência, neste caso, deve-se entender a quantidade e qualidade dos itens fabricados por unidade de tempo e por unidade monetária.

A **Automação Industrial** vem a ser uma extensão da mecanização, pois além de meios mecânicos, utiliza também meios eletrônicos e computacionais para proceder operações e controles na produção. Segundo Groover (1987, p.2), os sistemas de produção automatizados podem ser classificados em três tipos básicos: "Automação fixa ... Automação programável ... Automação flexível".

Na **Automação Fixa**, máquinas são capazes de executar diversas operações simples, substituindo dois ou mais equipamentos. A integração destas operações em uma só máquina torna o sistema bastante complexo e inflexível, o que só é recomendável quando se fabricam produtos bastante padronizados e grandes volumes de produção.

Na **Automação Programável**, os equipamentos são mais genéricos, capazes de produzir diferentes produtos sem demoras excessivas entre um tipo e outro. A seqüência de operações é controlada por um programa de computador, que contém as instruções necessárias para a produção. Para fabricar um produto diferente, deve-se alimentar o sistema com outro programa, relativo a este novo item, além de se realizar um novo "set up"

(preparação da máquina para a produção). Neste sistema, no entanto, a capacidade produtiva é menor do que na Automação Fixa, mas sua flexibilidade é maior, o que o habilita para a produção em lotes.

A **Automação Flexível** é uma extensão da Automação Programável. Um sistema deste tipo é capaz de produzir várias peças de vários produtos com o mínimo de tempo não-produtivo entre uma peça e outra. Deste modo, é possível fabricar continuamente várias combinações e seqüências de produtos, ao invés de exigir que estes sejam produzidos em lotes separados. A grande vantagem deste tipo de automação sobre os outros é a possibilidade de produção **contínua** de vários produtos, sem intervalos de tempo entre um lote e outro. A mudança no programa de produção é feita "off line", ou seja, sem interromper a fabricação do item em processamento. Este novo programa de produção entrará em vigor em seguida ao que está funcionando no momento. Quando o nível de automação do sistema atinge atividades como transporte e inspeção, tem-se um **Sistema Flexível de Manufatura (FMS)**. Este tipo de sistema de produção apresenta uma maior flexibilidade, o que o torna recomendável para empresas com um número médio de produtos e com um volume médio de produção.

Uma discussão bastante polêmica cerca a decisão de automatizar ou não um sistema produtivo. Algumas das razões favoráveis à decisão pela automação são as seguintes:

- Aumento na produtividade. Ao se substituir operações

manuais por operações automatizadas, atinge-se maiores volumes de produção na mesma unidade de tempo;

- Segurança. Através da automação e da mudança do trabalho manual para um trabalho de supervisão, diminui-se bastante a incidência de acidentes do trabalho;

- Alto custo da matéria-prima. Com a automação, tem-se um número menor de falhas na produção, o que reduz a quantidade de retrabalhos e refugos, melhorando o aproveitamento dos materiais;

- Maior qualidade dos produtos. Além da maior rapidez na produção, a automação proporciona também a fabricação de itens em maior conformidade com as especificações de qualidade, em virtude da inexistência de fatores como a diminuição da acuidade e aumento na fadiga do ser humano em função do tempo;

- Redução no "lead time". Com a grande flexibilidade trazida pela automação, diminui-se o tempo entre o pedido do cliente e a expedição do produto (o lead time), o que proporciona uma vantagem competitiva na resposta às necessidades do mercado; e

- Diminuição nos estoques intermediários. Automatizando-se a produção, reduzir-se-ão bastante os tempos não-produtivos, dinamizando-se mais a produção e diminuindo-se, em consequência, os estoques intermediários, que representam capital parado na empresa e se desvalorizam a cada instante.

O processo de implantação de um programa de automação

industrial é o resultado de uma série de medidas visando a racionalização da produção. Esta racionalização deverá estar presente nas diversas etapas do processo produtivo, ou seja, no marketing, planejamento, projeto, produção, vendas, apoio logístico e atendimento aos clientes, assim como nas interfaces entre elas. A consequência desta racionalização será o aumento da qualidade, do ponto de vista global, dos produtos, processos, serviços e sistemas.

Para que se possa então iniciar a automação industrial é necessário estudar em profundidade cada uma das etapas do processo de produção e suas funções características. Deve-se buscar a manutenção das funções essenciais, que agregam valor aos produtos, e a minimização das funções desnecessárias, que implicam em **valor de custo**, sem a contrapartida em **valor de troca**, aos produtos fabricados. Por valor de custo, entende-se "o total de recursos ... necessários para produzir/obter um item" e por valor de troca, "a medida monetária das ... qualidades de um item que possibilitam a troca por outra coisa" (Csillag, 1985, p.52). Dentre estas funções desnecessárias, destacam-se: estoques intermediários, estoques de produtos finais, transportes, refugos, retrabalhos, inspeções, etc. Todos estes fatores resultam na destinação de recursos de mão-de-obra, máquinas e energia para atividades não-produtivas, que aumentam consideravelmente os custos de produção.

No intuito de se buscar a eliminação destas atividades

prejudiciais à qualidade dos produtos, novas filosofias da administração da produção surgiram, cada uma analisando este problema sob uma ótica particular. Duas importantes filosofias são a **Integração da Manufatura** e o **Just in Time (JIT)**, que serão abordadas nos itens 2.2 e 2.3, respectivamente.

## 2.2 - A INTEGRAÇÃO DA MANUFATURA

A integração das atividades realizadas em uma empresa, também conhecida como **Manufatura Integrada**, é um meio para se conseguir implantar um sistema de informações mais eficiente, através do qual pode-se obter dados atualizados sobre todos os departamentos da empresa. Isto implica em que todas as atividades e decisões têm um significado global, relevante para a organização como um todo, e não apenas num contexto local. Neste caso, também, o todo é melhor do que a soma das partes. Com isto, torna-se possível entender completamente o modo de atuação da companhia e remover-se atividades redundantes ou que não agregam valor aos produtos. A implantação da Manufatura Integrada é uma forma de se quebrar as barreiras entre os setores, melhorando-se a comunicação entre pessoas de áreas diferentes e permitindo-se um acesso comum às informações.

Tendo-se à disposição os recursos do computador, pode-se ter uma integração mais veloz das informações sobre a manufatura. Neste caso, tem-se a **Manufatura Integrada por Computador**

(CIM). Alguns dos benefícios observados em aplicações práticas do CIM são:

- " - *Redução no custo do projeto : 15-30%;*
- *Redução no lead time: 30-60% ...;*
- *Redução nos estoques intermediários: 30-60%;*
- *Redução nos custos com mão-de-obra: 5-20%."*  
(Ingersoll, 1985, p.42 e 43).

Entre as atividades que podem ser executadas no CIM, encontram-se:

- "- *avaliação e desenvolvimento de diferentes estratégias de marketing para o produto;*
- *análise de mercado e geração de previsões;*
- *análise de características produto/mercado e geração de conceitos de possíveis sistemas de manufatura (i.e. células FMS e sistemas FMS);*
- *projeto e análise de componentes para produção, inspeção, montagem e demais processos de fabricação ...;*
- *determinação e avaliação de tamanhos de lote, capacidade de produção, seqüenciamento e estratégias de controle, relacionados ao projeto e processos de fabricação ...;*
- *análise e "feedback" de certos parâmetros ... relacionados aos processos de manufatura ... monitorados em tempo real;*
- *análise de perturbações do sistema;*
- *análise de fatores econômicos."* ( Ránky, 1986, p.2 e 3)

Para que se possa executar todas essas atividades é fundamental, para o CIM, que haja uma grande quantidade de informações disponíveis aos administradores da empresa. É a partir destas informações que as decisões são tomadas. Basicamente, é necessário se dispor de informações atualizadas sobre:

- componentes, materiais, ferramentas e dispositivos de fixação;
- fornecedores e compradores;

- sistemas de manufatura, células e tipos de layout;
- códigos de produtos e listas de peças;
- mercados e orçamentos; e
- pedidos detalhados dos consumidores.

Todas estas informações devem estar disponíveis aos setores técnicos e administrativos da empresa, numa base de dados comum.

A Manufatura Integrada por Computador é composta pelos seguintes elementos, mostrados na Figura 1: Planejamento e Controle da Produção (PCP); Projeto Auxiliado por Computador (CAD); Produção Auxiliada por Computador (CAP); Manufatura Auxiliada por Computador (CAM); Qualidade Auxiliada por Computador (CAQ) e Manutenção.

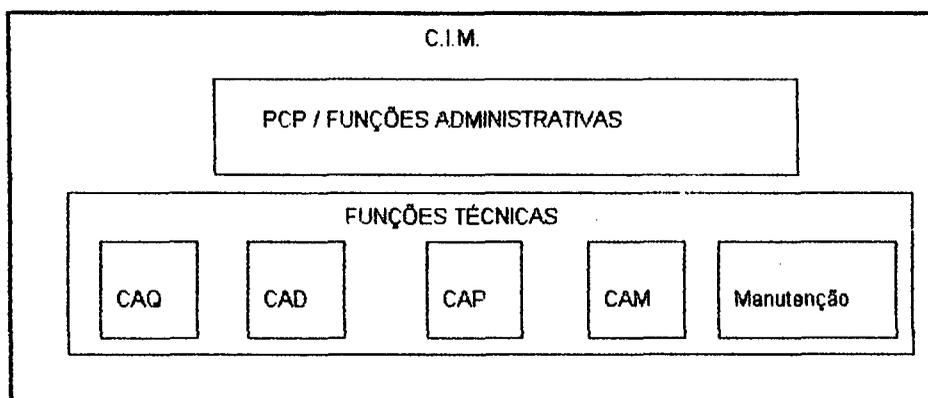


Fig. 1: Componentes do CIM.

Todos estes elementos se inter-relacionam através de redes de computadores, por onde se dá o intercâmbio de dados. Analisando-se estes componentes da Manufatura Integrada, vê-se que há uma

diferença entre esta e um sistema de produção automatizado, pois a primeira envolve todas as atividades desenvolvidas no interior da empresa, sejam elas relacionadas ou não com a produção. A automação, neste caso, é voltada mais para um sistema de informações. Pode-se ter, inclusive, um sistema integrado de manufatura sem o uso do computador. No caso de um sistema de produção automatizado, apenas as atividades ligadas à produção, ou de "chão de fábrica", são executadas com o auxílio da automação. A Integração da Manufatura é, num sentido mais amplo, uma filosofia de produção, enquanto que a automação é um meio de se produzir com maior qualidade e flexibilidade.

Um aspecto essencial na geração do conceito do CIM é a especificação dos pré-requisitos operacionais, ou seja, certas condições mínimas de organização da fábrica que devem estar presentes para que se possa implantar a Manufatura Integrada por Computador. Entre estes pré-requisitos operacionais encontra-se o **layout industrial**.

### 2.3 - O JUST IN TIME

O sistema Just in Time (JIT) é uma filosofia de produção criado pela indústria Toyota do Japão, que tem como princípio fundamental a utilização de recursos de produção em quantidades minimamente necessárias. Por recursos, entende-se matérias-primas, equipamentos, mão-de-obra, etc.

Uma descrição do Just in Time, dada por Schonberger (1987, p. 20) é a seguinte:

*"a idéia em que repousa o JIT é simples: fabricar e entregar produtos apenas a tempo de ser vendidos, submontá-los apenas a tempo de montá-los nos produtos acabados, fazer peças apenas a tempo de entrar nas submontagens e, finalmente, adquirir materiais apenas a tempo de ser transformados em peças fabricadas."*

A partir desta definição de Just in Time, nota-se que quaisquer atividades que acarretem em desperdício de recursos são consideradas perdas e devem ser eliminadas. Entre estas atividades incluem-se estoques, transportes, controle de qualidade, retrabalhos, etc.

Em relação aos estoques, estes podem ser divididos em três categorias: estoques de matérias-primas, estoques de produtos acabados e material em processamento também chamado de "Work-in-Process" (WIP). Estes tipos de estoques podem ser classificados em :

- **estoque vivo** - são materiais que estão sendo trabalhados e que a cada etapa do processo produtivo possuem maior valor agregado do que na etapa anterior;

- **estoque adormecido** - materiais que estão "esperando" processamento (é o caso do WIP); e

- **estoque morto** - materiais refugados e sucata.

O objetivo no Just in Time é o de possuir apenas estoque vivo e minimizar os demais. Além do desperdício que estes outros tipos

de estoques representam, há também custos relacionados a eles, tais como a energia gasta para processá-los, o tempo e a mão-de-obra dedicados a eles e a sua armazenagem. Além disso, há o custo financeiro de se ter excesso de capital paralisado.

As razões para existência de estoques podem ser:

- falta de balanceamento da linha de produção;
- necessidade do processo; e
- utilização de capacidade ociosa sem necessidade.

A causa para se produzir quando não se precisa pode ser o tempo perdido em atividades de preparação de máquinas e ferramental (set up), quando da mudança do tipo de peça a processar. Quando se trabalha com a automação flexível não há este tipo de problema, pois esta apresenta dispositivos para executar o set up de forma mais rápida e eficiente.

Para o sistema JIT, a formação de estoques "de segurança" é um paradoxo, pois estes têm a função de:

*"proteger uma seção de serviço das inconstâncias que ocorram na produção do centro anterior. ... A solução do JIT é fazer exatamente o inverso: retirar estoques de segurança para fazer aparecer as inconstâncias - e extirpar as causas ... (em vez de criar mais estoques de segurança para ocultar problemas)." (Schonberger, 1987, p.55).*

Outra característica marcante do Just in Time, e que também está presente num sistema de produção voltado para a automação industrial, é o fato de se trabalhar com tamanhos de lote pequenos, os mais próximos possíveis do lote unitário. A razão

disso está no fato de que ao trabalhar com lotes deste tipo, um operário, ao processar uma peça e passá-la ao operador seguinte, terá mais rapidamente o "feedback" quanto à qualidade do seu "produto". Ao produzir fora dos padrões, esta peça será reprovada no posto de trabalho seguinte, o que irá evitar a produção de inúmeros lotes de peças defeituosas (menos retrabalho e menos refugo). Os operários terão mais consciência da influência do seu trabalho na qualidade do produto final; reconhecerão seus erros e procurarão evitá-los; terão autoridade para interromper a fabricação quando da detecção de problemas; serão capazes de gerar idéias de como produzir com mais qualidade e eficiência, pois são as pessoas que conhecem mais intimamente o processo de produção.

Para que se possa atingir o menor tamanho de lote possível é vantajoso haver uma relação bastante próxima (ou uma integração) da produção com o setor de vendas. As previsões da demanda devem ser altamente confiáveis, para que a produção tenha condições de cumprir as metas de vendas a tempo e na quantidade e qualidade exigidas. O ideal é que haja um fluxo contínuo "puxado" entre o mercado consumidor, as vendas e a produção. À medida que a demanda diminui, a produção decresce no mesmo nível. Para que tal flexibilidade ocorra, é vantajoso utilizar a ferramenta da Integração da Manufatura. Em relação aos princípios básicos do Just in Time e sua oposição aos sistemas tradicionais de produção, pode-se visualizar as diferenças no quadro 1, onde as características gerais de um e outro se contrapõem.

Quadro 1: Comparação entre o Just in Time e o sistema tradicional de produção.

SISTEMA TRADICIONAL	JUST IN TIME
Formação de estoques de segurança	Estoques formados de acordo com a necessidade
Produção "empurrada"	Produção "puxada"
É difícil a visão global da fábrica	A Integração da Manufatura facilita a visão global
Centralização das decisões	Decisões descentralizadas
Grandes estoques de produtos acabados	Pequenos estoques de produtos acabados
Os materiais são enviados para os postos de trabalho seguintes após processados	Os materiais são enviados para os postos de trabalho seguintes apenas quando processados
Problemas escondidos sob os estoques	Problemas aparentes
Produtividade local	Produtividade global
Operários especializados	Operários multifuncionais
Máquinas específicas, caras ou de grande porte	Máquinas universais, simples ou de pequeno porte
Grandes tamanhos de lote	Tamanhos de lote próximos à unidade
Poucas trocas de ferramentas e set up longo	Trocas de ferramentas conforme necessidade e set up racionalizado
Mão-de-obra pouco envolvida na qualidade	Mão-de-obra consciente da sua contribuição para a qualidade dos produtos

Uma diferença fundamental entre o Just in Time e os sistemas tradicionais é a atenção que a empresa devota aos consumidores.

O atendimento integral aos clientes é a meta prioritária do sistema JIT, pois ao se atender imediatamente a um pedido, e na qualidade exigida, se está conquistando um cliente de forma duradoura, visto que este dará maior valor àquela empresa que responder melhor aos seus anseios. Novamente, deve-se ressaltar a Integração da Manufatura como ferramenta para a vantagem competitiva, pois para que a empresa possa dar respostas rápidas às tendências do mercado é preciso que esta seja bastante integrada e flexível, capaz de reduzir seu "lead time" ao mínimo possível. Esta rapidez no atendimento é um trunfo para o departamento de marketing, que poderá usá-la como estratégia para conquistar e manter clientes.

As vantagens provenientes da adoção do sistema Just in Time por uma empresa podem ser de três tipos, segundo Lubben(1989):

*"Redução do custo de materiais ... As reduções oriundas dessas áreas podem ficar na faixa de 30 a 50 por cento dos custos operacionais....*

*Os custos... com materiais são reduzidos... de diversas maneiras: ...*

*Reduzindo o número de fornecedores com os quais a empresa opera....*

*Desenvolvendo contratos de longo prazo....*

*Eliminando a necessidade de contagem individual de peças....*

*Eliminando a inspeção de recebimento....*

*Eliminando os desarranjos causados por grandes lotes....*

*Eliminando o excesso de materiais refugados. ...*

*Reduzindo custos de produção ... Otimizar o processo de produção para obter a meta de nível de qualidade de 100 por cento, resulta em redução dos custos...de inspeção, retrabalho ... teste...assistência técnica e reparos de garantia....O custo da qualidade pode representar mais do que 15 a 25 por cento do*

*faturamento da empresa....*

*Redução do custo nas vendas ... Redução das sobreposições de sistemas (como inspeção e teste) entre o fabricante e o cliente. Quanto mais clientes JIT o departamento de vendas puder estabelecer...mais a empresa poderá otimizar os seus próprios recursos. ...A meta... torna-se então o desenvolvimento de uma base de clientes JIT." (p. 21 a 23)*

Para que se possa usufruir de todas estas vantagens, é necessário implantar o Just in Time da forma mais integral possível. Torna-se importante dotar a empresa de certos pré-requisitos operacionais que permitem a adoção do sistema JIT. Nas seções 2.4 e 2.5, um destes pré-requisitos, o layout ou arranjo físico, será tratado no contexto da Integração da Manufatura e do JIT, respectivamente.

É importante salientar que deste ponto em diante, a expressão "layout industrial" será utilizada para designar o arranjo físico do setor produtivo de uma empresa, visto que este é o ambiente no qual se inclui o escopo do trabalho. As demais áreas da fábrica, dedicadas a atividades não produtivas, não serão consideradas no estudo realizado.

## **2.4 - O LAYOUT NO CONTEXTO DO CIM**

Na Manufatura Integrada por Computador (CIM), o objetivo é o de tornar a empresa uma entidade única, rompendo as barreiras entre os departamentos e possibilitando que os trabalhadores tenham uma visão global da fábrica. Com isso, estes saberão que suas decisões têm influência em vários outros setores e não

apenas naquele onde a decisão está sendo tomada no momento. A vantagem desta visão global é que pode-se percorrer toda a fábrica, suprimindo-se atividades redundantes ou não-produtivas, reduzindo-se assim os custos e aumentando-se a qualidade.

Para que haja, então, este processo de melhoramento contínuo, é necessário que os vários departamentos da empresa estejam trabalhando da forma mais eficiente possível. Todos os setores da fábrica devem apresentar grande qualidade e produtividade. Assim, o layout industrial é um dos pré-requisitos para a eficiência no aproveitamento dos equipamentos, da mão-de-obra, do fluxo de produção, da manutenção, da movimentação mínima de materiais, etc.

Além disso, o CIM (assim como o JIT) tem como característica importante a flexibilidade para o atendimento de pedidos dos clientes. As tendências do mercado consumidor devem ser antecipadas pelo setor de Marketing, mas se não tiverem suporte na produção, o esforço de nada adiantará. Este suporte para a manufatura flexível é dado por um bom processo de fabricação e um layout de qualidade. Os arranjos físicos em forma de **Células Flexíveis de Manufatura (FMC)** são indicados para este tipo de situação, quando as demandas dos produtos são bastante variáveis.

Com o uso do computador para se projetar o arranjo físico de uma fábrica, tem-se a vantagem da integração do software de projeto de layout com o banco de dados do CIM, permitindo o acesso rápido a estas informações, quando se fizer necessário.

## 2.5 - O LAYOUT NO CONTEXTO DO JUST IN TIME

O arranjo físico de uma fábrica, além de estar apto a dar o suporte para a implantação da Manufatura Integrada, deve também levar em conta características do Just in Time, visto que ambos visam a racionalização da produção, o aumento da qualidade e a minimização das atividades que não agregam valor aos produtos. O JIT e o CIM possuem grande sinergia entre seus princípios básicos.

O layout no contexto do Just in Time tem como características o aproveitamento racional dos espaços, a proximidade entre os postos de trabalho, o posicionamento das máquinas segundo o fluxo produtivo e a flexibilidade das linhas de produção.

Em relação à disposição das linhas de produção, no Just in Time estas apresentam uma configuração em forma de "U" ou em linhas paralelas. Schonberger (1987, p. 170 e 171) afirma que a vantagem deste tipo de arranjo físico é que o mesmo permite

*"que o mesmo trabalhador opere simultaneamente em dois lados ... Ao programar-se uma produção mais elevada, podem-se acrescentar trabalhadores na linha, cada um trabalhando em apenas uma ala."*

A consequência disso é a grande flexibilidade do layout. Além do que, com a formação das células de fabricação (ou de montagem), pode-se contar com as habilidades dos operários para exercerem diversas tarefas, inclusive ter-se diversas máquinas a cargo de apenas um operador.

Outra característica do arranjo físico no JIT é a grande proximidade entre postos de trabalho. Com isto, permite-se "a transferência manual das peças entre um operário e outro, sem que eles precisem caminhar" (Schonberger, 1987, p.172). Minimiza-se, assim, o transporte de material, atividade que consome tempo e não agrega valor.

Em relação às máquinas utilizadas, as fábricas procuram possuir equipamentos pequenos, universais, de pouca complexidade e mais baratos. Podem até criar suas próprias máquinas, se não houver como utilizar as que já existem no mercado, a fim de atender às exigências de uma tarefa. Se, pelo contrário, a empresa contiver máquinas dedicadas a fins muito específicos e que sejam equipamentos com um custo de aquisição muito elevado, pode haver uma certa inércia para responder às oscilações na demanda de certos produtos, diminuindo-se o poder de reação da empresa. A tendência, neste caso, será a de maximizar o uso desta máquina, para que o investimento seja "justificado". Peças desnecessárias serão produzidas, estoque será formado e o "ganho" obtido ao se produzir bastante será ilusório.

## **CAPÍTULO 3**

### **ABORDAGENS PARA O PROBLEMA DO LAYOUT INDUSTRIAL**

#### **3.1 - CARACTERÍSTICAS DO LAYOUT INDUSTRIAL**

O arranjo físico ou layout industrial é a disposição física das máquinas e áreas livres para o trabalho e a circulação dos operários e da mão-de-obra indireta em uma empresa.

O objetivo básico do layout é o de integrar, da maneira mais harmônica e com menores custos, mão-de-obra, matéria-prima e máquinas, dentro dos limites da edificação. Além de se alcançar esta meta, ao se projetar ou rearranjar um layout, deve-se obter ainda um aumento na produtividade dos trabalhadores, através de melhores condições de trabalho: a racionalização no uso do espaço, prevendo áreas para futuras expansões; a redução nos transportes, pelo agrupamento maior das máquinas e racionalização

no fluxo produtivo e a redução no "lead time", para se ter respostas mais rápidas frente às exigências dos consumidores.

Em relação às principais causas de problemas no layout, e que podem demandar um rearranjo físico, pode-se enumerar:

- má localização da fábrica em relação às vias de acesso, o que pode dificultar o arranjo físico dos setores de recebimento de matéria-prima e expedição;

- edifício incompatível com o atual estágio da produção, ocasionando deficiência de espaços para a circulação de pessoas e para a movimentação de materiais, além da falta de áreas destinadas para futuras expansões;

- linhas de produção super especializadas em determinados produtos, cujas demandas sofram quedas acentuadas ou que necessitem ser modificadas para incorporar maior flexibilidade de produção;

- mudanças drásticas no projeto dos produtos ou fabricação de novas linhas de produtos, causando alterações no processo de produção e no arranjo físico (necessidade de uso da Engenharia Simultânea); e

- fluxo de produção desordenado, ocasionando altos custos de movimentação de materiais. Neste caso, há uma grande parcela da mão-de-obra envolvida com transportes e outras atividades completamente improdutivas.

O layout industrial pode ser classificado em quatro tipos: arranjo físico funcional ou por processo, arranjo físico linear ou por produto, arranjo físico celular e arranjo físico por posição fixa.

a) Arranjo Físico por Processo. Caracteriza-se pelos agrupamentos de máquinas do mesmo tipo (agrupamentos funcionais) em diferentes áreas do setor produtivo. O objetivo desta configuração é o aumento da flexibilidade na execução das operações de produção. Se determinada máquina estiver ocupada, pode-se contar com outros equipamentos do mesmo tipo para executar uma certa operação. As máquinas, neste tipo de arranjo, são do tipo universal e apresentam grande flexibilidade de uso. Todavia, o arranjo puramente funcional apresenta uma série de desvantagens, tais como: grandes quantidades e longas distâncias de transportes, excesso de estoques intermediários e "lead times" demorados. Exemplos de empresas que apresentam este tipo de arranjo físico são indústrias que se dedicam à mecânica pesada.

b) Arranjo Físico por Produto. É utilizado por empresas que fabricam uma gama estreita de produtos e que não apresentam grandes diferenças no fluxo de produção. Este tipo de layout contém diversas máquinas posicionadas em linha ou em uma configuração aproximada a esta. Neste caso, reduz-se a movimentação de materiais. Entretanto, quando as linhas de produção não se encontram devidamente balanceadas, corre-se o risco de se diminuir ou até interromper a fabricação, pois não há

máquinas em paralelo para auxiliar as máquinas "gargalo". Perde-se flexibilidade e pode-se incorrer no erro de se produzir grandes lotes, para fazer estoque "de segurança". Além disso, os equipamentos existentes no arranjo linear são geralmente dedicados a operações específicas, mais caros do que os universais e com tempos de "set up" mais elevados. Exemplos de empresas que utilizam este tipo de layout são as que atuam no setor cerâmico.

c) Arranjo Físico Celular. Já discutido no capítulo 2, o arranjo celular agrupa pessoas, equipamentos e material em núcleos voltados para a produção de determinados itens, conhecidos como "famílias de peças". Os tamanhos de lote são pequenos, o controle de qualidade é feito logo após cada operação, os estoques intermediários e os transportes são reduzidos e há uma grande flexibilidade para responder às necessidades do mercado.

De acordo com Groover (1987, p. 449 e 450), pode-se classificar as células em quatro categorias, segundo o número de máquinas e o grau de automação:

- " - *Célula de máquina simples* . . . ;
- *Célula de máquinas agrupadas com movimentação manual* . . . ;
- *Célula de máquinas agrupadas com movimentação semi-integrada* . . . ; e
- *Sistema Flexível de Manufatura (FMS)* ."

As células de máquinas simples são formadas por apenas uma máquina, contendo dispositivos de fixação e ferramentas necessárias para a produção de uma ou mais famílias de peças. Um

exemplo de aplicação deste tipo de célula são os Centros de Usinagem.

As células de máquinas agrupadas com movimentação manual correspondem ao caso mais geral do arranjo celular. Várias máquinas são arranjadas em conjunto para a produção de uma ou mais famílias de peças. Os fluxos produtivos das peças definem as máquinas componentes de cada célula. As células estão dispostas geralmente na forma de "U" e são operadas/supervisionadas por um ou alguns poucos operários.

As células de máquinas agrupadas com movimentação semi-integrada são agrupamentos contendo várias máquinas, arranjadas em linha reta ou em "looping", ligadas por um sistema de transporte de materiais, tal como uma correia transportadora, para mover as peças entre as máquinas. A escolha do arranjo em linha ou em "looping" vai depender do fluxo de produção das peças. O primeiro caso é indicado para famílias de peças bastante semelhantes, que possuam fluxos produtivos idênticos. O segundo tipo é voltado para peças cujos processos de produção são distintos ou com poucos pontos em comum. Estes dois tipos de arranjo celular são exibidos na figura 2.

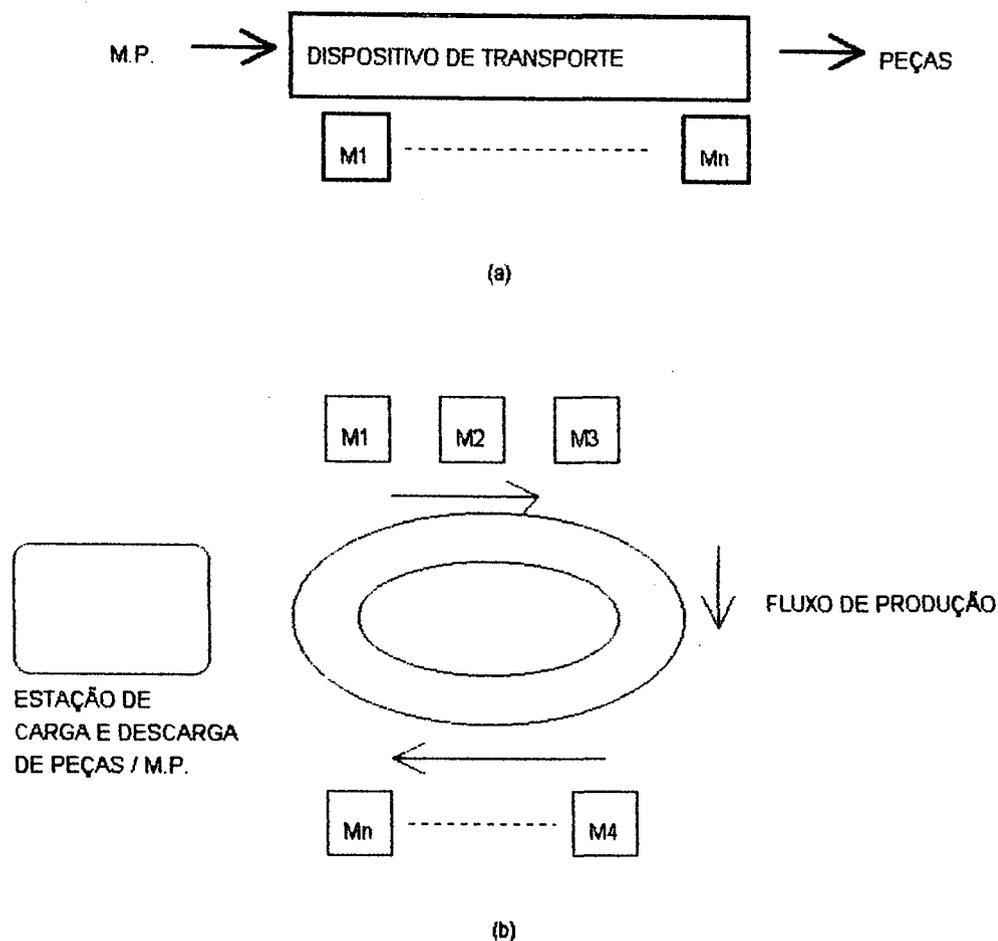


Fig. 2: Arranjo celular com movimentação semi-integrada: (a) layout em linha; (b) layout em "looping". (Groover, 1987, p. 451).

O Sistema Flexível de Manufatura (FMS), segundo Groover (1987, p. 463),

*"consiste de um grupo de estações de processamento (predominantemente máquinas CNC), interligadas por um sistema automatizado de movimentação de materiais e controlado por um sistema integrado por computador."* (p.463)

Pode-se afirmar que o FMS é a parte operacional da Manufatura Integrada por computador (CIM).

Em relação ao tipo de célula a utilizar, deve-se ter, como critério de escolha, os requisitos necessários para o processamento, tais como o número de peças processadas, a

quantidade de operações em cada peça, o seqüenciamento destas operações e as características físicas das peças.

d) Arranjo físico por posição fixa. Caracteriza-se por ser o único tipo em que o material permanece estático e os operários, máquinas e equipamentos se movem para construir o produto. É o caso em que o item a ser fabricado possui grandes dimensões, como em um navio, um edifício ou uma represa.

### 3.2 - A TECNOLOGIA DE GRUPO E O LAYOUT INDUSTRIAL

Para propor uma nova abordagem do problema do layout industrial, desenvolveu-se um estudo do arranjo físico no contexto da Manufatura Integrada e do Just in Time, pelo fato de que a inter-relação dos elementos destes sistemas com o layout é fundamental para o bom funcionamento destas filosofias de produção.

No caso do Just in Time, o arranjo físico celular, além de racionalizar o fluxo de produção, tem a característica de promover a conscientização da qualidade entre os operários, à medida que estão produzindo. No entanto, apesar deste tipo de layout fazer parte das características típicas do sistema JIT, a técnica para se proceder a formação das células está contida nos princípios da Tecnologia de Grupo (GT), que será discutida neste item.

Tecnologia de Grupo (GT), segundo Groover (1987), vem a ser "uma filosofia de manufatura na qual peças similares são identificadas e agrupadas para se tirar partido de suas similaridades no projeto e na manufatura." (p. 433). Estas peças similares são reunidas em famílias de peças, sendo que o processamento de cada membro da família é idêntico ao dos demais. Por esta razão, as máquinas envolvidas na produção de uma família de peças são agrupadas nas células de fabricação, pois dedicam-se quase que exclusivamente a elas.

O processo de formação das famílias de peças (e posteriormente das células) inicia por uma análise do projeto de cada uma das peças, com o objetivo de pesquisar suas similaridades. Para facilitar este trabalho, foram desenvolvidos sistemas de classificação e codificação, sendo que o mais conhecido é o sistema desenvolvido por Opitz (apud Opitz e Wiendahl, 1971, p. 184 e 186), muito difundido até os dias de hoje. A codificação por este sistema é composta de duas partes, o código de forma e o código adicional:

*"O código de forma tem 5 dígitos. No primeiro dígito, está caracterizada a forma geral das peças. ... sendo estas subdivididas em peças rotacionais e não-rotacionais. ... O segundo e terceiro dígitos se relacionam com o primeiro, i.e., o segundo dígito define a forma externa e ... o terceiro ... descreve a forma e a posição dos principais furos. O quarto dígito descreve o processo de fabricação e o quinto, os furos auxiliares, engraxadeiras, engrenagens e acabamento. ..."*

*Além do código de forma, informação adicional é necessária para uma classificação completa, a qual é reunida no ... código adicional. ..."*

*O primeiro dígito do código adicional contém o diâmetro ou o comprimento das peças, conforme o caso. No segundo dígito, os materiais estão subdivididos de acordo com suas propriedades de*

*tensão e características de usinagem. A forma da matéria-prima é descrita no terceiro dígito. No quarto dígito pode estar indicado onde maior precisão é necessária na peça."*

Um exemplo do sistema criado por Opitz encontra-se na figura 3.

CÓDIGO DE FORMA					CÓDIGO ADICIONAL			
2	0	0	0	0	9	7	7	0

**CÓDIGO DE FORMA :** 1º DÍGITO : 2 - Relação L/D :  $0,5 < L/D < 3$   
 2º DÍGITO : 0 - Peça lisa, sem ressalto  
 3º DÍGITO : 0 - Peça lisa, sem furos  
 4º DÍGITO : 0 - Peça não-usinada  
 5º DÍGITO : 0 - Peça sem furos auxiliares e sem dentes de engrenagem

**CÓDIGO ADICIONAL :** 1º DÍGITO : 9 - Diâmetro da extremidade A :  $100 < D < 160$   
 2º DÍGITO : 7 - Material não-ferroso  
 3º DÍGITO : 7 - Forma inicial : componente fundido forjado  
 4º DÍGITO : 0 - Precisão não especificada

Fig. 3: Exemplo de classificação de uma peça segundo o Código de Opitz.

Para atingir a produção das famílias de peças, pode-se adotar, além do Método de Opitz, a inspeção visual e a Análise do Fluxo de Produção (PFA).

A Análise do Fluxo de Produção (PFA) é um método que associa a formação das famílias de peças com o agrupamento das máquinas nas células, sendo estes dois processos realizados simultaneamente, vindo daí a sua importância. Com a utilização deste método, pode-se prescindir dos dados de projeto dos produtos para a formação das famílias, simplificando-se o processo. Além disso, evita-se o agrupamento de peças similares

mas que têm processos de fabricação bastante diversos e a separação de peças muito diferentes, mas cujos processos de produção são idênticos. A desvantagem é que não há como saber se a seqüência de fabricação das peças é ou não a mais eficiente. No entanto, para empresas que desejam uma introdução à técnica da Tecnologia de Grupo, este método é o que apresenta maior simplicidade e eficiência associadas.

Existem várias metodologias que se baseiam na PFA e visam o agrupamento das máquinas em células simultaneamente com a formação das famílias de peças. A grande maioria delas é baseada na chamada **Matriz de Incidência**, de ordem  $m \times p$ , sendo  $m$  o número de máquinas no setor e  $p$  o número de peças a fabricar. Os elementos da matriz podem receber o valor 1 ou 0, conforme determinada peça  $j$  receba ou não uma operação na máquina  $i$  ( $a_{ij} = 1$  ou  $a_{ij} = 0$ ). O objetivo, ao se trabalhar com esta matriz, é arranjar seus elementos de maneira que a distribuição de elementos  $a_{ij} = 1$  esteja na forma de "quadrados diagonais". Um exemplo desta prática encontra-se na figura 4. Os métodos para se conseguir tal resultado e, ao mesmo tempo, formar as células de fabricação e as famílias de peças, encontram-se discutidos no capítulo 4.

		Peças				
		1	2	3	4	5
Máquinas	1	0	1	0	1	1
	2	1	0	1	0	0
	3	0	1	0	1	1
	4	1	0	1	0	0

**Matriz de Incidência inicial**

		Peças				
		1	3	2	4	5
Máquinas	2	1	1	0	0	0
	4	1	1	0	0	0
	1	0	0	1	1	1
	3	0	0	1	1	1

**Matriz de Incidência final**

Célula 1 : máquinas 2 e 4  
 Célula 2 : máquinas 1 e 3

Família 1 : peças 1 e 3  
 Família 2 : peças 2 e 4

Fig. 4: Aplicação do Método de Agrupamento na Tecnologia de Grupo.

A partir da observação da figura 4, nota-se que os blocos localizados na diagonal principal (os "quadrados diagonais") da Matriz de Incidência final possuem apenas elementos iguais a 1, enquanto os elementos externos são todos nulos. Esta distribuição significa que todas as máquinas da célula estão ocupadas e que não há transporte entre células. Caso existissem elementos nulos no interior dos quadrados diagonais, algumas máquinas permaneceriam ociosas durante certo tempo. Existindo elementos não-nulos fora dos quadrados diagonais, haveria transporte de material de uma célula para outra. Percebe-se assim a importância de se obter o melhor arranjo possível da Matriz de Incidência.

Em relação às vantagens da aplicação da Tecnologia de Grupo (GT) visando obter processos produtivos mais eficientes, pode-se dizer que estes benefícios se refletem de várias maneiras.

No projeto de produtos, pode-se aproveitar o sistema de classificação e codificação para construir um banco de dados contendo o código de cada peça. Com isto, ao se projetar um novo protótipo, pode-se ter em mente o código que cada uma de suas peças terá, sendo possível consultar a base de dados à procura de peças com códigos semelhantes, simplificando o projeto e diminuindo o número de novas peças no modelo. Padroniza-se o projeto de produtos e diminui-se o risco de se conceber novos produtos cujas exigências de fabricação sejam superiores ao que é possível conseguir com o maquinário existente.

As ferramentas e dispositivos de fixação também serão mais simplificadas, pois como cada célula é responsável pela produção de um grupo de peças com exigências de fabricação semelhantes, as ferramentas a serem usadas numa célula não diferem muito de uma peça para outra, o que reduz bastante o tempo de "set up" das máquinas.

Finalmente, um dos maiores benefícios é o seqüenciamento e a programação da produção, que tornam-se bem mais simples e eficientes, pois a divisão das máquinas em células reduz o número de centros de produção. Torna-se mais fácil visualizar, a qualquer instante, onde determinado componente está sendo processado, já que existe uma relação de pertinência entre cada peça e uma família e entre famílias e células de fabricação.

### 3.3. ABORDAGENS DO PROBLEMA DO LAYOUT INDUSTRIAL

O objetivo deste item é fornecer um panorama das diversas abordagens já realizadas em relação ao projeto do layout industrial. Para tanto, subdividiu-se estas abordagens em diversos tipos, a serem discutidos a seguir. Cabe salientar, que cada um destes métodos apresenta características que o torna adequado a certos tipos de problemas, mas que não garantem que a sua utilização será invariavelmente satisfatória. Uma análise mais profunda de quais são os métodos mais adequados à aplicação prática será realizada no capítulo 4, onde discutir-se-ão as hipóteses a serem desenvolvidas no modelo proposto.

#### 3.3.1 - Métodos Sistemáticos

São métodos de projeto do layout que se baseiam numa seqüência de etapas, com a finalidade de atingir um objetivo, como por exemplo minimizar o transporte entre máquinas, aproximar equipamentos com grandes inter-relações, etc. Os principais métodos sistemáticos são:

- **Método dos Elos.** Trata-se de um método baseado na análise das inter-relações existentes entre as unidades que compõem o arranjo físico. Estas inter-relações são expressas em termos da quantidade de material em processamento que se desloca de uma unidade para outra.

O procedimento para aplicação do método é o seguinte: determina-se o fluxo de produção dos vários produtos existentes, em termos das máquinas utilizadas; o fluxo de um produto entre um equipamento e o próximo é chamado de **elo**; soma-se, para cada máquina, a quantidade de elos que esta possui com as demais máquinas do setor, sendo esta quantidade de elos expressa em termos do número de produtos em processamento (também chamados de "Work in Process" ou simplesmente WIP), que chegam e saem da máquina em questão. As máquinas com maior número de elos serão dispostas nas posições mais centrais do departamento e à medida em que um observador se aproxima da periferia do setor, o número de elos diminui. Atinge-se assim, o objetivo de diminuição dos transportes e agrupamento das máquinas que mais se inter-relacionam.

Este método tem por característica a simplicidade e seu ponto forte é a obediência a dois critérios para o agrupamento: um qualitativo, a inter-relação entre máquinas, e outro quantitativo, o número de transportes entre equipamentos.

- **Método das Seqüências Fictícias.** Este método visa obter, a partir dos fluxos produtivos de todos os itens fabricados,

*"a seqüência mais geral de operações na qual as unidades operacionais podem ser, se necessário, desmembradas. Esta seqüência geral, assim obtida, assumirá, normalmente, um caráter fictício, pelo desmembramento ou repetição das unidades reais. Ela não será inteiramente seguida por cada produto, e talvez mesmo por nenhum deles, pois em cada linha de produção apenas as*

*operações requeridas pelo seu produto serão executadas.*" (Valle, 1975, p.72)

Após estabelecer esta seqüência fictícia, deve-se determinar o tempo necessário para cada operação, a quantidade exigida de equipamentos para realizá-las e a ordem destas máquinas no arranjo físico. Para isto, constrói-se um quadro contendo, nas linhas, as operações de produção, e nas colunas, a ordem numérica destas operações. No cruzamento das linhas com as colunas, marca-se a carga horária de cada operação. Quanto mais a distribuição dos elementos da matriz se fizer nas posições próximas a diagonal principal, menos fluxo em contracorrente irá ocorrer. Nota-se que ao se duplicar certas máquinas e localizá-las em pontos distintos do layout, pode-se também evitar retornos e transportes excessivos.

Deve-se ressaltar que este método é indicado para layouts em linha ou por produtos, sendo o seu emprego mais restrito em outros casos, o que caracteriza uma limitação.

- **Método dos Torques.** Este método de projeto de layout, também conhecido como Método dos Momentos, destina-se a reduzir a quantidade de transportes realizados no setor produtivo de uma empresa.

A partir dos fluxos de produção de cada um dos produtos, constrói-se uma matriz que contém, nas linhas, os pontos de origem dos materiais de uma operação para outra, e nas colunas,

os respectivos pontos de destino. Nos pontos de interseção entre linhas e colunas, posiciona-se o número de peças transportadas entre um posto de trabalho e outro. Quanto menor a distância entre estes elementos e a diagonal principal da matriz, menor será o **momento de transporte** do layout, ocasionando menores custos ligados a esta atividade. O objetivo torna-se então reposicionar as máquinas de maneira que o momento total seja reduzido.

Outra característica a ser observada é que os inter-relacionamentos localizados acima da diagonal principal são transportes "a favor" da corrente e os transportes abaixo desta são em contracorrente, mais nocivos do que os primeiros. O Método dos Torques, afirma Valle (1975),

*"pode ser aplicado com grande êxito na análise de duas ou mais soluções alternativas de arranjo físico, permitindo transformar em valores numéricos de fácil comparação as vantagens e desvantagens de cada alternativa proposta."*

A dificuldade para implementação computacional do método está no fato de que ele possui uma característica de buscar a melhor solução, investigando todas as alternativas possíveis, o que pode alongar demasiadamente o tempo de processamento.

- **Método DE-PARA.** Este método é bastante semelhante ao Método dos Elos. Para aplicá-lo, deve-se conhecer os fluxos de produção que existem no setor e a quantidade de transportes para cada produto. Tal como em métodos já citados, constrói-se um

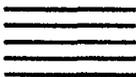
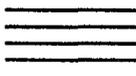
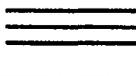
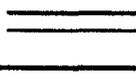
diagrama ou matriz, onde se posicionam os pontos de origem dos materiais nas linhas, os pontos de destino nas colunas e as intensidades de transporte nos cruzamentos. Deve-se então aproximar as máquinas com maiores inter-relações e afastar aquelas sem ligações mais freqüentes.

Assim como no Método dos Elos, seu ponto forte encontra-se na simplicidade e na busca de um objetivo quantitativo: diminuir o custo dos transportes entre as máquinas pela redução da distância entre elas.

- **Método SLP.** O Planejamento Sistemático de Layout (SLP) é um método de projeto do arranjo físico desenvolvido por Richard Muther e sua aplicação ocorre em situações em que não é possível (ou não é prático) obter as quantidades de transportes de peças entre as diversas máquinas e equipamentos.

A abordagem do problema do layout, neste caso, difere dos outros métodos descritos até o momento. Inicialmente, é estabelecido um diagrama de relacionamento entre as máquinas, onde se demonstra o grau de importância destas inter-relações. A codificação utilizada neste diagrama é exibida no quadro 2.

Quadro 2: Códigos de inter-relações entre máquinas no Método SLP.

CÓDIGO	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	IMPORTÂNCIA DA INTER-RELAÇÃO
A		Absolutamente necessária
E		Muito importante
I		Importante
O		Comum
U		Não importante
X		Indesejável

Além dos códigos, por letras e por linhas, pode-se estabelecer valores numéricos para expressar a importância das inter-relações entre os equipamentos. Na maioria das aplicações práticas, os valores usados são: A=5, E=4, I=3, O=2, U=1 e X=-1.

É com base no diagrama de relacionamento que as máquinas são posicionadas, com a finalidade de aproximar equipamentos com maiores inter-relações e de afastar aqueles que não tem muita afinidade. A deficiência do método é não trabalhar com as quantidades exatas de transportes entre os equipamentos, como por

exemplo em termos de unidades transportadas ou o número de lotes transportados.

- **Método do Triângulo.** Trata-se de um método idêntico ao Método dos Torques, mas que representa geometricamente as intensidades de transporte entre as máquinas, na forma de arestas de um triângulo, sendo que os vértices representam os equipamentos. Para posicionar as máquinas com relação às outras, deve-se analisar, para cada vértice, as arestas que o ligam aos demais vértices e considerar os valores mais significativos.

Por tratar-se de um método que utiliza a geometria, se o número de máquinas no setor for muito elevado, a construção da figura geométrica que representa os transportes será bastante complexa, dificultando a visualização da solução.

### 3.3.2 - Métodos Heurísticos

Consideram-se como métodos heurísticos, os métodos de projeto de layout que se utilizam de procedimentos ou rotinas de cálculo que são capazes de fornecer boas soluções para o problema, sem, no entanto, garantir que estas sejam as mais eficazes. Não há condições, inclusive, de assegurar que todas as alternativas de solução geradas serão eficientes. A vantagem obtida é o menor tempo de processamento necessário para se chegar a um resultado

satisfatório. Algumas abordagens heurísticas encontram-se descritas a seguir:

- **Layout Dinâmico.** Na maioria das abordagens do problema do layout industrial, este é tratado como um problema estático, ou seja, deve-se (re)alocar máquinas ou setores dentro do espaço disponível visando obter um novo e permanente arranjo físico. No entanto, mudanças ocorrem ao longo do tempo, seja na demanda pelos produtos, na vida útil dos equipamentos ou na produtividade da mão-de-obra (experiência e escala). Todos estes fatores influem para o aumento ou redução do ciclo de vida do layout.

Segundo Rosenblatt (1986, p. 76), há dois tipos de objetivos a serem alcançados na solução do problema do layout, um objetivo quantitativo e outro qualitativo, podendo-se entender que "um objetivo quantitativo é o de minimizar o custo de movimentação de materiais e o objetivo qualitativo é o de maximizar a ... proximidade entre as máquinas." Para atingir ambos os objetivos de maneira harmônica, além de se considerar o ciclo de vida do layout, foi desenvolvida uma heurística conhecida como abordagem do **Problema do Layout Dinâmico.**

Considerando-se o layout de um setor como um sistema constante ao longo do tempo, pode-se abordar o problema de alocação das máquinas como a minimização dos custos de transporte associada à distribuição dos equipamentos ao longo dos locais apropriados. Este é um problema de Programação Quadrática, cuja solução só é possível para casos em que há um pequeno número de

máquinas, visto que o tempo de processamento e a quantidade de memória utilizados são excessivamente elevados, tornando a solução inexequível para um número grande de máquinas. Em virtude disso, necessita-se de heurísticas que forneçam boas soluções para o problema. Sabe-se que, devido à natureza dinâmica dos negócios, muitas mudanças ocorrem em pouco tempo, como por exemplo novos pedidos, novas linhas de produtos, novos equipamentos, etc. Pela abordagem dinâmica do problema,

*"considera-se um meio ambiente determinístico, onde o número de pedidos e quantidades, datas de chegada de M.P. e saída de produtos acabados para diferentes produtos ... são conhecidas para um dado horizonte finito. ... Dependendo da natureza do negócio, um período pode ser dado em termos de meses, ... anos, etc. A maior questão envolvida no ... problema ... é qual deve ser o layout em cada período, ou em que extensão ... devem ser feitas mudanças no arranjo físico."* (Rosenblatt, 1986, p. 78).

O procedimento, então, deve ser o de considerar o número máximo de diferentes layouts igual a  $n!$ , sendo  $n$  o número de departamentos ou possíveis posições das máquinas na planta. Levando-se em conta que o arranjo físico vai durar  $T$  períodos, o número máximo de combinações de layouts será de  $(n!)^T$ . Obviamente nem todas estas alternativas serão pesquisadas, tendo-se em vista o uso de uma heurística ligada à Programação Dinâmica, simplificando o processo de solução do problema. Esta heurística propõe a solução do problema por duas maneiras diferentes.

A primeira forma de se resolver o problema ocorre com a solução ótima dos diferentes layouts existentes ao longo do período  $T$  (os chamados "layouts estáticos"). Desta maneira, o

conjunto de layouts a ser considerado em cada período inclui apenas as melhores alternativas, reduzindo o número máximo de layouts no conjunto das possíveis soluções.

A segunda parte da heurística deve ser aplicada quando for inviável uma solução ótima do "layout estático". Neste caso, utiliza-se algum tipo de software, tal como o CRAFT ou CORELAP (ver seção 3.4.) para gerar soluções para o problema em diferentes períodos. Pode-se criar ainda, soluções aleatórias para o problema. O número de alternativas a considerar vai depender do grau de precisão requerido. A alternativa que apresentar o menor custo de transportes será considerada a solução.

Esta abordagem do problema tem como ponto forte pesquisar um grande número de alternativas de solução, ao longo do ciclo de vida esperado do arranjo físico. Esta é uma vantagem quando o layout está inserido em um ambiente fabril instável, mesmo durante curtos horizontes de tempo. No entanto, quando as condições ambientais se mantiverem relativamente constantes durante períodos maiores, esta abordagem não será tão vantajosa, pois serão geradas inúmeras soluções iguais ao longo do processamento.

- **Robustez.** Na abordagem dinâmica do problema do layout, considerou-se um meio ambiente determinístico na procura de

soluções, isto é, as condições ambientais permanecem supostamente constantes durante um certo período de tempo. A abordagem **robusta** do problema leva em conta a incerteza em relação à demanda dos produtos ao longo do tempo, num meio ambiente estocástico. A **robustez**, neste caso, refere-se à flexibilidade para acomodar mudanças ocorridas no meio ambiente. Rosenblatt e Lee (1987, p.481) afirmam que

*"a robustez de uma alternativa pode ser medida pelo número de vezes que sua solução se encontra dentro de uma porcentagem pré-especificada de soluções ótimas, para diferentes ... cenários.... Seleciona-se a alternativa com maior possibilidade de estar próxima à solução ótima."*

De acordo com a robustez, classifica-se a provável demanda dos produtos em Alta, Média e Baixa. A partir dos fluxos de produção, dos diagramas "DE-PARA" e dos custos de movimentação de materiais, geram-se várias alternativas de solução, de acordo com a probabilidade de ocorrência dos cenários. Deve-se notar que, se todas as possíveis soluções fossem pesquisadas, o número de possibilidades seria  $3^n \times m!$ , sendo  $n$  o número de produtos,  $m$  o número de máquinas ou setores a alocar e a base 3 devida aos três tipos de demanda (alta, média ou baixa).

Assim como na abordagem dinâmica, a robustez, para ter melhores resultados em relação a outros métodos, deve ser considerada apenas em casos de grande incerteza na demanda, limitando-se tão somente a esta situação.

- **Hierarquia de Critérios** - A abordagem por Hierarquia de Critérios visa acomodar critérios qualitativos e quantitativos na busca de soluções. À medida em que um grande número de critérios é considerado no projeto do arranjo físico, aumenta a importância desta abordagem.

Para se implementar este método, deve-se primeiramente recorrer a abordagens sistemáticas de projeto do arranjo físico, tais como SLP, Elos ou Torques ou a programas de computador, tais como ALDEP, CRAFT ou CORELAP (ver seção 3.4). Uma série de soluções diferentes para um determinado problema de layout devem ser geradas para posterior apreciação. A abordagem por Hierarquia de Critério será o mecanismo de avaliação das soluções, com a finalidade de se aferir a melhor das alternativas.

De acordo com Cambron e Evans (1991, p. 220), os critérios de avaliação mais representativos variam conforme o tipo de empresa. No caso de uma empresa gráfica, por exemplo, os critérios mais indicados para se julgar as alternativas de layout são:

*"Movimentação eficiente de materiais ... Fluxo eficiente de pessoas ... Facilidade de expansão ... Boa utilização do espaço ... Adaptabilidade a mudanças no processo e nos equipamentos ... Supervisão eficiente ... Segurança ... Seguridade ... Estética ... Controle de Ruído."*

Da lista de critérios deve-se observar que "segurança" refere-se à relação entre os operários e os equipamentos e "seguridade" refere-se à relação entre a fábrica e possíveis invasores.

Após a enumeração dos critérios de julgamento do layout, deve-se estabelecer sua hierarquia, dividindo-os em **critérios de custos** e **critérios de meio ambiente**. Dos dez critérios apresentados anteriormente, os cinco primeiros são critérios de custos e os cinco últimos são critérios de meio ambiente. Em seguida, deve-se avaliar as diversas alternativas em relação a estes critérios. O grau de importância de cada critério é estabelecido numericamente, para que a avaliação leve em conta estes fatores de maneira ponderada. Uma fórmula matemática adaptada a partir de Cambron e Evans (1991), dada pela equação (1), calcula a "Prioridade Global", ou seja, o escore de cada alternativa:

$$PG_k = \omega_c \left( \sum_{i=1}^5 \omega_{ic} * \omega_{k,ci} \right) + \left( \sum_{i=1}^5 \omega_{ima} * \omega_{kma,i} \right) \quad (1)$$

onde :

$PG_k$  é a prioridade global da alternativa de layout  $k$ ;

$\omega_c$  é a prioridade local do critério de custos;

$\omega_{ma}$  é a prioridade local do critério de meio ambiente;

$\omega_{ic}$  é a prioridade local do  $i$ -ésimo critério de custos;

$\omega_{ima}$  é a prioridade local do  $i$ -ésimo critério de meio ambiente;

$\omega_{kc,i}$  é a prioridade local da alternativa  $k$  com respeito ao  $i$ -ésimo critério de custos; e

$\omega_{kma,i}$  é a prioridade local da alternativa  $k$  com respeito ao  $i$ -ésimo critério de meio ambiente.

Obviamente que a alternativa com maior Prioridade Global será a mais indicada para implantação no layout.

Esta abordagem apresenta bastante utilidade na comparação das soluções do problema do layout fornecidas por diferentes métodos ou softwares.

- **Hierarquia de Grupos.** Uma outra visão da hierarquia pode ser aplicada ao projeto do layout, com relação aos grupos de máquinas formados no arranjo físico. Tam e Li (1991, p. 167) desenvolveram um procedimento de solução dividido em três fases: "(1) Análise do agrupamento, (2) Posicionamento inicial e (3) Refinamento do layout."

A fase de **Análise do Agrupamento** tem como dados de entrada o fluxo de WIP e a distância entre as estações de trabalho. O agrupamento das máquinas é feito com base nas similaridades entre elas, de acordo com as peças produzidas, tal como na Tecnologia de Grupo, formando células "hierárquicas" com um número limitado de equipamentos.

A segunda etapa, o **Posicionamento Inicial**, determina a localização de cada máquina em relação às outras, dentro de cada agrupamento. Como esta localização está sujeita a modificações posteriores, cada posto de trabalho é modelado como tendo a forma de um círculo, pois as características geométricas das máquinas ainda não estão sob consideração. Segundo Tam e Li (1991), é mais vantajoso se trabalhar geometricamente com círculos do que com retângulos no computador, em virtude do seu perímetro ser função de apenas um parâmetro (o raio).

Finalmente, a etapa de **Refinamento do Layout** aperfeiçoa o arranjo físico gerado na etapa anterior. As máquinas são modeladas como retângulos e todas as restrições físicas do setor são consideradas.

Esta abordagem é bastante equilibrada, pois divide o projeto do layout industrial em três etapas distintas, o que evita sobrecarregar o computador com um número muito grande de cálculos desde o início do processamento, racionalizando o uso da CPU e de outras unidades da máquina. Além disso, há uma etapa de projeto do layout, onde se calcula a posição relativa das máquinas na planta e uma etapa de desenho do layout, quando então se representam graficamente os resultados da etapa anterior. Esta divisão concorre também para uma melhor utilização dos recursos disponíveis.

O modelo computacional desenvolvido neste trabalho tem uma estrutura semelhante à forma desta abordagem .

### 3.3.3 - Teoria dos Grafos

A oportunidade de se abordar o problema do layout através da Teoria dos Grafos deu-se a partir do desenvolvimento do Planejamento Sistemático do Layout (SLP), onde se utiliza o mapa de relacionamento entre as máquinas (ou entre os setores). Este mapa fornece a representação gráfica das inter-relações entre as unidades de produção.

Os conceitos da Teoria dos Grafos que podem ser aplicados ao problema do layout industrial são a Planaridade, a Conexidade e a Equação de Euler.

Um grafo é planar se suas arestas tiverem como pontos de interseção apenas os seus pontos extremos (vértices). A partir deste conceito deve-se examinar corretamente as situações práticas, para não se incorrer em erros. Na figura 5 vê-se um grafo que, à primeira vista, parece ser não-planar, mas que na verdade é um grafo planar.

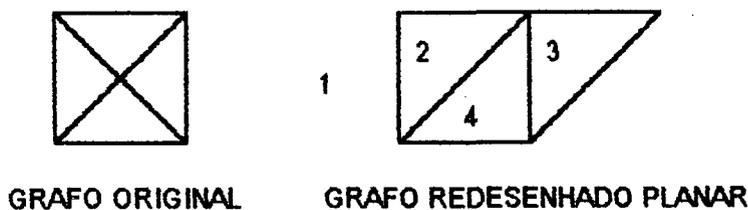


Fig. 5: Exemplo de um Grafo Planar. (Moore, 1980, p. 5)

O grafo original tem as diagonais internas do quadrado se cruzando em um ponto diferente dos vértices. Ao redesenhar o grafo, percebe-se que este é na verdade um grafo planar.

O conceito de planaridade aplicado ao contexto do layout revela que o mapa de relacionamento deve ser um grafo planar, tendo em vista que atividades ou equipamentos com grande inter-relação devem estar adjacentes. A vantagem desta abordagem é que não é necessário considerar a forma ou o tamanho dos blocos no layout, já que o que importa é saber se estes são ou não adjacentes.

Um segundo conceito importante é o da **Conexidade**, definida como a propriedade que todo par de vértices do grafo possui de estar ligado por pelo menos uma aresta. A **Equação de Euler** aplicada à Teoria dos Grafos equivale a:

$$V - E + R = 2 \quad (2)$$

sendo  $V$  o número de vértices do grafo,  $E$  o número de arestas e  $R$  o número de regiões. O exemplo da figura 5 mostra que  $V = 4$ ,  $E = 6$  e  $R = 4$  (incluindo a região externa 1). Aplicando-se a Equação de Euler, obtém-se

$$V - E + R = 4 - 6 + 4 \Rightarrow V - E + R = 2$$

Segundo Moore (1980), "a Equação de Euler torna-se o marco fundamental na determinação do limite máximo de atividades adjacentes no layout." (p. 6). Este grafo que apresenta o número máximo de arestas é chamado de **máximo grafo planar**.

Sabe-se que uma região **R** é definida como o espaço envolvido por no mínimo três arestas **E**, ou seja, há uma proporção entre o número de regiões e o número de arestas que as separam:

$$E/3 = R/2$$

$$R = (2/3)E \quad (3)$$

Substituindo-se o valor de **R**, dado pela equação (3), na Equação de Euler, obtem-se o número máximo de arestas do grafo:

$$V - E + R = 2$$

$$V - E + (2/3)E = 2$$

$$3V - 3E + 2E = 6$$

$$E_{\text{máx}} = 3V - 6 \quad (4)$$

A equação (4) fornece o número máximo de arestas em um grafo planar e também o limite máximo no inter-relacionamento entre departamentos numa fábrica.

Esta abordagem é de grande valia quando se trata do projeto de layout de setores em uma fábrica, não sendo aplicável no caso do arranjo físico de máquinas dentro de um setor.

### 3.3.4 - Conjuntos Difusos

Na Teoria dos Conjuntos, um objeto qualquer pode se encontrar em apenas dois tipos de situações: ou ele **pertence** a um dado conjunto ou **não pertence**. Na Teoria de Conjuntos Difusos existe a chamada **Função de Pertinência** que designa um número no intervalo (0,1) para indicar o **valor de verdade** de uma afirmação do tipo "o objeto pertence ao conjunto". Os valores extremos, 0 e 1, indicam a falsidade e a verdade absoluta da afirmação, respectivamente. Grobelny (1987) afirma que "um conjunto difuso pode ser entendido como uma classe de objetos na qual não há um limite visível entre objetos que pertencem ou não àquela classe." (p. 1124)

Os conjuntos difusos podem ser aplicados como ferramenta para representar variáveis lingüísticas relativas à intensidade de certas características. Isto é vantajoso no caso de situações indefinidas, onde é difícil obter dados confiáveis e objetivos. Neste caso, palavras se tornam mais precisas do que expressões numéricas. Estas palavras são usadas em expressões da Linguagem Natural, e seus valores de verdade são denominados de **consistência**.

A aplicação de conjuntos difusos na questão do layout industrial é recomendada nos casos onde os dados do problema não estão definidos claramente. Neste caso, opiniões de especialistas, formuladas por meio de variáveis lingüísticas, são consideradas, e os valores destas variáveis são obtidos pela

combinação destas opiniões individuais. Ao enunciar um problema do tipo "Dado um grupo de máquinas  $m$  e  $n$  posições ( $n > m$ ), alocar estas máquinas às posições onde os custos de movimentação de materiais sejam mínimos e a interação entre os pares de equipamentos seja máxima", pode-se colher as seguintes opiniões de "experts" :

- (1) Se o fluxo ... entre duas máquinas for muito grande, então elas devem ser posicionadas muito perto uma da outra.*
- (2) Se a relação de serviço entre duas máquinas for grande, então elas devem ser posicionadas perto uma da outra.*
- (3) Se a relação organizacional for importante, então as máquinas devem ser posicionadas próximas.*
- (4) Se a relação entre os ambientes das duas máquinas for perigosa ..., então as duas máquinas devem ser posicionadas tão distantes quanto possível." (Raoot e Rakshit, 1991, p. 842).*

Traduzindo-se estas afirmações para Linguagem Natural, tem-se:

- (1) Se ELO-MAQ = MUITO GRANDE  
então DISTÂNCIA = MUITO PEQUENA;
- (2) Se ELO-SERV = GRANDE  
então DISTÂNCIA = PEQUENA;
- (3) Se ELO-ORG = IMPORTANTE  
então DISTÂNCIA = PEQUENA;
- (4) Se ELO-MEIO = PERIGOSO  
então DISTÂNCIA = MUITO GRANDE.

As afirmações de todos os especialistas serão computadas e aquelas que apresentarem maior consistência serão as diretrizes para o projeto do arranjo físico.

A limitação em se utilizar Conjuntos Difusos no projeto de layout reside no fato de que esta abordagem é voltada para situações em que os dados são realmente incertos, não havendo

como comparar os resultados com as soluções fornecidas por outras abordagens, em que este fator de incerteza não está presente. A vantagem dos Conjuntos Difusos está no fato de que as variáveis lingüísticas aproximam-se bastante das descrições textuais da situação real. Isto pode ser de particular importância para a construção de modelos computacionais flexíveis e interativos.

### 3.3.5 - Simulação

Esta abordagem do problema do layout assemelha-se à visão do layout dinâmico, comentado no item 3.3.2. O objetivo é reduzir a influência do tempo sobre os elementos do arranjo físico, incorporando a flexibilidade adequada ao projeto.

Na maioria dos métodos existentes, são considerados como valores constantes os fluxos de material entre máquinas, sem no entanto se levar em conta que este dado varia em função de mudanças na demanda e na aquisição de matéria-prima, entre outros fatores. Em razão disso, o layout deve ser projetado visando apresentar a flexibilidade necessária para acomodar estas variações. Savsar (1991, p. 156) afirma que um arranjo físico deve possuir dois tipos básicos de flexibilidade:

*"Flexibilidade reativa . . . . . é a medida de insensibilidade de um layout às mudanças no volume de fluxo de material entre departamentos. . . . ."*

*Flexibilidade adaptativa . . . . . é a medida da habilidade de um layout em ser modificado no futuro."*

Savsar (1991) desenvolveu um modelo de simulação para o projeto de layout que apresenta as seguintes características: minimização do custo total do fluxo aleatório de material; minimização da taxa de proximidade entre departamentos; incorporação de estados futuros do layout, visando minimizar os custos de rearranjo físico; e minimização dos custos de movimentação de materiais e maximização da taxa de proximidade entre departamentos nos possíveis layouts futuros. Todos estes aspectos são incorporados a uma expressão algébrica que representa a função objetivo a ser otimizada. Layouts aleatórios são gerados a partir do uso de dados preparados, e o melhor arranjo físico é considerado como solução do problema.

Assim como na abordagem dinâmica do layout, a simulação é indicada para casos em que as condições ambientais são extremamente variáveis com o tempo.

### 3.3.6 - Programação Quadrática

A utilização da Programação Quadrática no projeto do arranjo físico visa minimizar uma função objetivo expressa em termos do fluxo de material entre máquinas, da distância entre os locais onde se encontram os equipamentos e do custo de transporte. No entanto, esta formulação do problema leva em conta condições que dificilmente são observadas na prática, tais como a

obrigatoriedade de que se conheça antecipadamente os locais onde posicionar-se-ão as máquinas (ou os setores).

Para resolver o problema do layout por meio deste método, desenvolveram-se algoritmos **ótimos e subótimos**.

Os algoritmos ótimos, como os do tipo **Branch and Bound**, necessitam de grandes recursos de memória e processamento, pois investigam todas as possíveis combinações entre o número de máquinas a posicionar e o número de locais disponíveis para este fim. Estima-se que o número máximo de equipamentos que podem ser arranjados por este método seja 15, o que limita bastante a sua aplicação prática.

Os algoritmos subótimos fazem uso de outros métodos, tais como Heurísticas e Grafos para solucionar o problema sem ter que investigar todas as possíveis combinações, sendo assim, mais largamente utilizados.

### 3.3.7 - Sistemas Especialistas

Sistemas Especialistas ou Sistemas Baseados no Conhecimento são conjuntos de programas que utilizam o conhecimento armazenado em Linguagem Natural (fatos e regras, "frames", etc.) para resolver problemas propostos. A estrutura de um Sistema especialista é composta, em geral, por quatro módulos: a

Interface com o Usuário, a Base de Dados, a Base de Conhecimento e o Motor de Inferência.

O módulo de **Interface com o Usuário** contém os mecanismos de diálogo e recebimento das informações por ele fornecidas. Deve haver o cuidado por parte do projetista em tornar a relação do programa com o operador a mais amigável possível, através de perguntas claras e inequívocas, além de explicações sobre como proceder nas diversas etapas do sistema.

A **Base de Dados** contém todos os dados coletados pelo módulo de Interface com o Usuário, armazenadas na forma de **fatos**, ou seja, sob o ponto de vista da Lógica Proposicional, afirmações 100% verdadeiras.

A **Base de Conhecimento** possui todo o domínio do conhecimento sobre a questão a ser estudada, proveniente de especialistas no assunto. Este conhecimento pode estar representado na forma de regras de produção, redes semânticas, "frames", etc. Normalmente, o uso de regras de produção é mais comum, sendo que estas se caracterizam pela estrutura "SE premissa ENTÃO ação". A vantagem dos Sistemas Especialistas sobre outras abordagens está no fato de que a Base de Conhecimento pode ser ampliada pelo usuário, quando este fornece não apenas dados, mas também regras a serem consideradas pelo sistema.

O **Motor de Inferência** é a parte do sistema voltada para a solução dos problemas, aplicando os fatos e regras existentes na

Base de Dados e Base de Conhecimento aos dados fornecidos pelo usuário. "O motor de inferência contém um interpretador, que decide como aplicar as regras para inferir novo conhecimento, e um seqüenciador, que decide em que ordem as regras serão aplicadas." (Waterman, 1986, p.18)

A principal vantagem do uso de Sistemas Especialistas está no fato de que, através deles, é possível automatizar grande parte do projeto do layout, livrando o homem de tarefas excessivamente repetitivas, proporcionando-lhe mais tempo para atividades criativas.

No item 3.4, serão apresentados exemplos de Sistemas Especialistas e programas de computador aplicados ao projeto de layout .

### **3.4. SOFTWARES PARA O PROJETO DO LAYOUT INDUSTRIAL**

Entre os softwares existentes na literatura que fazem o projeto do arranjo físico, há dois tipos básicos: os programas voltados para o projeto do layout de departamentos dentro da fábrica e os programas que projetam o layout das máquinas dentro do setor. Há uma diferença na complexidade destes dois tipos de softwares.

No caso do projeto do layout de setores dentro do prédio da empresa, o número de alternativas para o arranjo físico é igual a

$n!$ , sendo  $n$  o número de departamentos a arranjar, considerando-se que a área total dos setores é igual à área da edificação.

Em se tratando do arranjo físico das máquinas dentro de um departamento, caso no qual este trabalho se inclui, a complexidade é mais elevada, pois a área do setor é muito maior do que a área ocupada pelas máquinas (considera-se que além das máquinas, deve haver espaços para circulação, operação e manutenção dos equipamentos, áreas para futuras expansões, etc). O número de alternativas para o layout das máquinas, neste caso, é igual a:

$$N = m! \times (S/S_m) \quad (5)$$

onde:

$N$  é o número de alternativas de arranjos físicos;

$m$  é o número de máquinas do setor;

$S$  é a área do departamento; e

$S_m$  é a área ocupada por todas as máquinas juntas.

A relação  $(S/S_m)$  é aproximada para o número inteiro mais próximo. Quanto maior for o valor deste termo, mais complexo será o problema.

Outro fator de relevância é que o número de softwares que fazem o projeto do layout de máquinas dentro de um setor é inferior à quantidade de programas que projetam o layout dos

departamentos na fábrica. Além disso, vários softwares são aplicados a partir de teorias de otimização, com a finalidade de comprová-las na prática, sendo a complexidade bastante elevada, o que torna a implementação por computador muito mais complexa nestes casos, por consumir excessivo espaço de memória e apresentar um elevado tempo de processamento.

Uma denominação para este tipo de problema foi dada por Beghin-Picavet & Hansen (citados por Heragu & Kusiak, 1991), segundo os quais, "os problemas do arranjo físico de facilidades ... são conhecidos por serem NP-completos" (p. 2). Para entender o significado de um problema desta natureza, deve-se primeiramente ter uma noção do que é a classe de problemas NP. Gondran & Minoux (1984, p. 469) esclarecem que

*"um algoritmo é chamado de não-determinístico se contiver funções que permitam a escolha de rotinas normais (determinísticas). Executar tais funções pode ser considerado como dividir o programa em duas subrotinas simultâneas (paralelas).*

*A classe de problemas que podem ser resolvidos num tempo polinomial por um algoritmo não-determinístico é chamada de classe NP .... Se para cada instrução ... a escolha 'correta' é feita, então o tempo computacional é polinomial. ... Um algoritmo determinístico requer um tempo computacional exponencial. ...*

*Os problemas NP-completos são ... difíceis problemas NP."*

Nesta seção serão comentados os principais programas e Sistemas Especialistas voltados para o projeto do layout industrial. A maioria destes softwares é aplicada ao arranjo físico dos setores, enquanto uma pequena parte trata do layout das máquinas no interior dos departamentos.

Na seção 3.4.1, serão apresentados programas que se limitam ao projeto do layout de setores. Na seção 3.4.2, apresentar-se-ão softwares que realizam o projeto do arranjo físico das máquinas. No item 3.4.3, será feita uma avaliação destes softwares em relação aos requisitos necessários para que um programa seja realmente eficaz no projeto do layout industrial.

### 3.4.1 - Programas para o layout de setores

#### 3.4.1.1 - CRAFT

**NOME:** Computerized Relative Allocation of Facilities Layout

**AUTORES:** Elwood S. Buffa, Gordon C. Armour e Thomas E. Vollmann

**CARACTERÍSTICAS:** Trata-se do software mais citado em publicações científicas voltadas para o projeto de layout industrial. Algumas de suas versões estão escritas em linguagem BASIC. O programa exige como dados de entrada: a matriz de fluxos entre departamentos (como no método DE-PARA), os custos de transporte de material, as áreas necessárias para cada setor e uma solução inicial, que servirá como ponto de partida para o processamento. O programa inicia os cálculos pela determinação do custo desta solução inicial. Em seguida, todas as possíveis trocas entre pares de setores adjacentes ou de mesma área são avaliadas. A mudança que implicar na maior redução nos custos de

transporte é efetuada. O procedimento continua até que as trocas de departamentos já não resultem em diminuição de custos.

**LIMITAÇÕES:** O programa CRAFT "pode lidar com apenas 40 setores e não tem boa performance quando os setores possuem áreas diferentes." (Kusiak et alli, 1987, p. 240).

#### 3.4.1.2 - CORELAP

**NOME:** Computerized Relationship LAYout Planning

**AUTORES:** James M. Moore e Robert C. Lee

**CARACTERÍSTICAS:** Os dados necessários ao funcionamento do software são o número de setores a serem arranjados, o módulo de área utilizado (todos os departamentos terão sua superfície em função deste módulo), a área prevista para cada setor, a máxima relação comprimento/largura para o prédio e o diagrama de relacionamento entre setores (tal como no sistema SLP). A partir deste diagrama, determina-se o setor com o maior número de inter-relações com os demais e este é posicionado no centro da área total do prédio. "Os demais setores são adicionados ao layout dependendo de suas relações com os departamentos já posicionados." (Kusiak e Heragu, 1987, p. 238). Outro fator a considerar é que o programa CORELAP considera primeiramente o projeto do layout e posteriormente a construção da edificação, como no caso de uma nova fábrica a ser implantada.

**LIMITAÇÕES:** O software é voltado apenas para o layout de setores e considera que a soma das áreas totais destes é igual à superfície da planta. A suposição de modularidade nas áreas é um limitante sério para aplicações práticas.

#### 3.4.1.3 - ALDEP

**NOME:** Automated Layout DEsign Program

**AUTORES:** Jerrold M. Seehof e Wayne O. Evans

**CARACTERÍSTICAS:** Este programa foi escrito em linguagem FORTRAN e desenvolvido em um computador IBM 7090. As informações necessárias para o processamento são: o número de interações a serem realizadas, o limite mínimo (escore) para aceitação de uma alternativa de solução, as áreas necessárias para cada departamento, o módulo de área adotado, as dimensões do prédio e a matriz de inter-relação entre os setores (como no método SLP). O processamento é realizado do seguinte modo: um departamento é escolhido aleatoriamente e posicionado no canto superior esquerdo do layout. O próximo setor a ser alocado é o que possuir a maior inter-relação com o primeiro, no caso deste inter-relacionamento (em unidades de fluxo de produção) ser superior ao limite mínimo imposto pelo usuário. O procedimento se repete até que todos os setores sejam posicionados. Segundo Camporini Jr. (1975, p. 78),

*"o programa pode analisar até 63 departamentos em edifícios de até 3 níveis. Os departamentos poderão ser candidatos a posicionamento em qualquer nível, ou especificamente destinados a*

*um dos níveis. O programa aceita a imposição de áreas previamente ocupadas que não poderão ser preenchidas por departamentos, bem como a imposição de parâmetros fixos em determinadas posições."*

**LIMITAÇÕES:** O tipo de interação feita pelo programa, do tipo aleatório e a posição em que o primeiro departamento escolhido é colocado (canto superior esquerdo) tornam o sistema vantajoso apenas em alguns casos, podendo se estender demasiadamente em outras situações.

#### 3.4.1.4. RMA-COMP I

**NOME:** Richard Muther and Associates **COMPU**ter Program  
Number I

**AUTORES:** Richard Muther e K. McPherson

**CARACTERÍSTICAS:** O software deve receber as seguintes informações por parte do usuário: área de cada setor, módulo de área, mapa de relacionamento entre departamentos e os tipos de atividades realizadas no setor. O programa seleciona os departamentos com maior número de inter-relações com os outros e os posiciona no centro do layout. Os próximos setores alocados serão os que tiverem maiores ligações com os precedentes, levando-se em conta a conveniência ou não da adjacência entre eles.

**LIMITAÇÕES:** O resultado do processamento não é o layout na sua forma definitiva e sim um arranjo físico aproximado, que

ainda necessita de ajustes por parte do projetista, o que pode ocasionar desvios no resultado final. Além disso, não se utilizam fatores quantitativos como parâmetros para o processo de solução do problema.

#### 3.4.1.5 - PLOPCO

**NOME:** Plant Layout Ótimo por Processo Computacional

**AUTORES:** José Luiz Olivério e Reginaldo Viana Baião

**CARACTERÍSTICAS:** Este modelo computacional apresenta três versões: a versão PLOPCOL, destinada à constituição de uma linha de produção; a versão PLOPCOD, voltada para o posicionamento de setores; e a versão PLOPCOF, que executa o arranjo físico dos departamentos levando em conta posições pré-fixadas. Os dados de entrada no sistema são o número de atividades a serem posicionadas, os fluxos de produção entre atividades, o custo de movimentação de material entre setores, as distâncias entre atividades e uma solução inicial do problema.

**LIMITAÇÕES:** Trata-se de um programa versátil, pois seu campo de atuação é bastante amplo. As limitações são a necessidade de se conhecer de antemão as distâncias entre atividades e a solução inicial do problema, fornecida pelo usuário, que se não for muito eficiente irá alongar demasiadamente o tempo de processamento

#### 3.4.1.6 - LSP

**NOME:** LSP

**AUTORES:** Klaus Zoller e Kristin Adendorff

**CARACTERÍSTICAS:** O programa LSP necessita dos seguintes dados: o módulo de área, a planta do edifício em função da unidade modular, as áreas necessárias para cada setor, os fluxos de transporte entre departamentos e os custos de transporte. O sistema consiste de um simulador, responsável pela geração (aleatória) da seqüência na qual os setores serão alocados, e um módulo que executa o desenho do layout para esta seqüência. O arranjo é então avaliado e ao se atingir um ponto satisfatório o processamento se interrompe. O sistema pode posicionar até 50 departamentos.

**LIMITAÇÕES:** Os recursos de memória e processamento são utilizados em excesso.

#### 3.4.1.7 - MAT

**NOME:** Modular Allocation Technique

**AUTORES:** H.K. Edwards, B.E. Gillett e M.C. Hale

**CARACTERÍSTICAS:** O sistema MAT ordena os pares de atividades de acordo com os valores dos fluxos de produção, e os pares de posições, de acordo com os valores das distâncias. A

combinação destas duas listas é colocada no arranjo físico. Há ainda a possibilidade de escolha, por parte do usuário, dos locais onde determinadas atividades devem ser posicionadas.

**LIMITAÇÕES:** Em aplicações práticas, muitas atividades possuem valores de fluxo de produção idênticos, mas o sistema não tem condições de distinguir entre elas, fazendo uma escolha aleatória de qual setores posicionar primeiro.

#### 3.4.1.8 - PLANET

**NOME:** Plant Layout Analysis and Evaluation Technique

**AUTORES:** Michael P. Deisenroth e James M. Apple

**CARACTERÍSTICAS:** O posicionamento de setores neste sistema segue uma ordem de três estágios: no primeiro, determina-se o custo dos transportes entre cada par de atividades. Associado a cada um deles está um "número de prioridade", que varia de 1 (prioridade máxima) a 9 (prioridade mínima) e determina a ordem de alocação dos setores no layout, juntamente com o custo de transportes. O segundo estágio do programa é a seleção da ordem de alocação das atividades. Para isso, existem três algoritmos que podem realizar a tarefa, devendo o usuário escolher qual deles vai utilizar. O terceiro estágio executa o desenho do arranjo físico na ordem estabelecida pelo estágio anterior.

**LIMITAÇÕES:** O sistema apresenta grande aplicabilidade e versatilidade. A ressalva a ser feita refere-se ao processo de escolha do algoritmo de alocação de atividades, no segundo estágio. Ao se deixar esta tarefa a cargo do usuário, nem sempre este terá elementos para realizar uma escolha equilibrada, podendo adotar um procedimento menos eficaz do que os outros disponíveis.

3.4.1.9 - H63

**NOME:** H63

**AUTOR:** F.S. Hillier

**CARACTERÍSTICAS:** O algoritmo se baseia em uma "Tabela de Prioridade", que consiste de valores (baseados em um dado layout inicial) que representam as mudanças nos custos que ocorreriam se houvesse a realocação de um setor de sua posição atual para um local adjacente. O processamento se inicia selecionando-se o máximo valor da Tabela de Prioridades, ou seja, a realocação de setor que mais reduziria os custos de transportes. Testa-se, então, o reposicionamento e, em caso de sucesso na redução de custos, executa-se a ação. Se não houver mais a diminuição positiva de custos, ao se realocar um setor, então o segundo maior valor da Tabela de Prioridades é escolhido e o processamento repetido, até que todos os departamentos tenham sido posicionados.

**LIMITAÇÕES:** Há necessidade do usuário criar um layout inicial ou aproveitar um arranjo físico já existente, com todas as suas imperfeições, para servir de dado inicial para o programa. "O algoritmo considera apenas intercâmbios entre setores adjacentes e resolve problemas apenas com departamentos de mesma área." (Kusiak et al., 1987, p.240)

#### 3.4.1.10 - FRAT

**NOME:** Facilities Relative Allocation Technique

**AUTORES:** T.M. Khalil

**CARACTERÍSTICAS:** Um layout inicial deve ser fornecido ao programa. A partir dele, mede-se a maior e a menor distância entre dois setores, armazenando a diferença  $d$  entre os dois valores. Determina-se então, para cada setor, o custo total de transporte de material deste departamento para todos os outros setores que estiverem a uma distância  $d$  ou maior. Os dois setores,  $m$  e  $n$ , com maiores custos de transporte são analisados visando um intercâmbio de posições. Para cada um destes dois setores analisa-se uma troca de posições com todos os demais. As mudanças que trouxerem maiores reduções nos custos são realizadas. Este procedimento é repetido até que não haja mais ganhos possíveis.

**LIMITAÇÕES:** O sistema apresenta bons resultados, mas só se aplica a casos em que os setores têm áreas iguais.

#### 3.4.1.11 - FATE

**NOME:** FATE

**AUTOR:** T.E. Block

**CARACTERÍSTICAS:** Trata-se de uma extensão do sistema MAT (ver seção 3.4.1.7.) que procura superar o problema de análise de pares de setores com valores de fluxo de produção iguais. Este sistema utiliza dois critérios para a escolha de quais setores alocar primeiro: o fluxo de produção e a taxa de proximidade entre setores.

**LIMITAÇÕES:** Não são conhecidas.

#### 3.4.1.12 - INLAYT

**NOME:** INLAYT

**AUTORES:** C. O'Brien e S.E.Z. Abdel Barr

**CARACTERÍSTICAS:** Este programa foi escrito em linguagem FORTRAN e desenvolvido em um computador PRIME 400 ligado a um terminal gráfico IMLAC (onde o usuário trabalha com uma "light pen") ou a um monitor TEKTRONIX (onde as telas mais comuns do

programa estão armazenadas). Os dados de entrada são o número de setores considerados e os seus respectivos nomes; a distribuição espacial dos setores ao longo do layout (i.e. se o número de departamentos a arranjar for de 24, por exemplo, a relação comprimento x largura pode ser de 8 x 3, 6 x 4 ou 12 x 2 setores), dependendo das dimensões da edificação; o fluxo de material entre setores; e um fator de controle (entre 0 e 1) definido pelo usuário, referente ao valor do fluxo de produção entre dois determinados setores proporcionalmente ao fluxo total da empresa. O programa apresenta duas rotinas: o algoritmo INLAYT, para construção de um arranjo físico inicial e o algoritmo S-ZAKY, para aperfeiçoamento do arranjo físico inicial. Como em programas apresentados anteriormente, o sistema promove o intercâmbio entre pares de setores visando reduzir os custos de transporte de material.

*"O layout inicial é primeiro apresentado em detalhes na tela, juntamente com o custo associado de movimentação de materiais .... O usuário pode solicitar que o padrão de fluxo de material seja sobreposto ao layout, sendo o volume indicado pela intensidade das linhas mostradas.... O procedimento irá então mostrar o layout inicial juntamente com um arranjo físico melhorado ... como sugerido pelo intercâmbio dos dois setores ... o que leva à maior redução nos custos totais de movimentação de materiais. Uma série de perguntas exibidas no vídeo permitem ao usuário expor linhas de fluxo, obter uma cópia da solução desejada, examinar o layout detalhado de qualquer setor e rearranjar máquinas e equipamentos dentro do departamento."*  
(O'Brien e Abdel Barr, 1980, p. 205 e 206)

**LIMITAÇÕES:** O programa é eficiente ao rearranjar setores, mas ao modificar o seu layout, o posicionamento interno das máquinas no setor é alterado sem nenhum critério, ficando a tarefa de aperfeiçoá-lo a cargo do usuário.

## 3.4.1.13 - DISCON

**NOME:** DISCON

**AUTOR:** Z. Drezner

**CARACTERÍSTICAS:** Neste programa, o problema do layout é modelado como um problema de Programação Matemática não-convexa. O processamento é realizado em duas etapas: a fase de dispersão, onde se propõe uma solução inicial, onde os setores se encontram afastados; e a fase de concentração, onde os departamentos são aproximados. A solução é um mínimo local do problema matemático.

**LIMITAÇÕES:** Com a solução do problema em duas etapas, o tempo de processamento é mais longo e a quantidade de memória utilizada é maior. Além disso, o programa considera como resultado do problema apenas a solução ótima.

## 3.4.1.14 - MUGHAL

**NOME:** MUGHAL

**AUTORES:** Kedar Nath Dutta e Sadananda Sahu

**CARACTERÍSTICAS:** Este programa foi escrito em FORTRAN IV e desenvolvido em um computador EC-1030. Os dados de entrada são: mapa de relacionamento entre setores, fluxos de produção, número de departamentos a serem alocados e um layout inicial. O processamento tem o objetivo de minimizar o custo de transporte e

maximizar a taxa de proximidade entre os setores. Como em modelos apresentados anteriormente, promove-se o intercâmbio entre pares de setores, computa-se a redução nos custos e decide-se ou não pela efetivação da mudança.

#### **LIMITAÇÕES:**

*As suposições feitas no método ... são que os setores possuem as mesmas áreas, as distâncias entre departamentos adjacentes são de uma unidade e o custo é linearmente proporcional à movimentação total de materiais. (Dutta e Sahu, 1982, p.153)*

#### **3.4.1.15 - FALSA**

**NOME:** Facilities ALlocation by Statistical Analysis

**AUTORES:** P.B. Mahapatra e D.S. Bedi

**CARACTERÍSTICAS:** Este software executa o arranjo físico de setores no interior de uma empresa através da "análise estatística da distribuição do custo total de todos os possíveis layouts" (Mahapatra e Bedi, 1984, p. 184). A partir de um layout inicial, pesquisam-se as reduções de custo de transporte provocadas por mudanças nas posições dos departamentos, executando-se a troca quando isto for vantajoso.

**LIMITAÇÕES:** O sistema necessita de elevados recursos de memória e processamento.

## 3.4.1.16 - FLAC

**NOME:** FLAC

**AUTORES:** M. Scriabin e R.C. Vergin

**CARACTERÍSTICAS:** O programa consiste de três estágios:

*"No primeiro estágio, os setores são posicionados tal que as distâncias entre eles sejam inversamente proporcionais aos fluxos. No segundo estágio, os departamentos são posicionados usando o princípio do estágio 1, mas agora as restrições de espaço são levadas em consideração. O terceiro estágio consiste de um ajuste fino usando um algoritmo de intercâmbio similar ao FRAT." (Heragu et alli, 1987, p. 243)*

**LIMITAÇÕES:** O sistema não leva em conta o layout das máquinas ao rearranjar os departamentos, o que pode alongar em demasia as distâncias percorridas pelos fluxos de produção.

## 3.4.1.17 - GASOL

**NOME:** Graph And String-Oriented Layout

**AUTORES:** Amar Hammouche e Dennis B. Webster

**CARACTERÍSTICAS:** Trata-se de um programa baseado na Teoria dos Grafos, escrito em linguagem PL/1 e desenvolvido em um computador IBM 3031. O processamento leva em conta a adjacência entre setores de um Máximo Grafo Planar, MPG (ver 3.3.3.), que representa o layout a ser modificado. Segundo os autores (Hammouche e Webster, 1985), o sistema "GASOL utiliza a técnica de processamento de listas, que parece ser ... a estrutura de

dados que fornece mais eficiência de processamento aos dados do layout." (p. 998)

**LIMITAÇÕES:** O software demanda uma grande quantidade de memória.

#### 3.4.1.18 - BLOCPLAN

**NOME:** Block Layout Overview with Computer PLANNing

**AUTOR:** Charles E. Donaghey

**CARACTERÍSTICAS:** Este software, em sua primeira versão, de 1986, efetua o arranjo físico de departamentos, através de algoritmos randômicos, de construção e de aperfeiçoamento. Os layouts são calculados e expostos no monitor, sendo seus escores computados. Os dados de entrada são o número de setores, suas respectivas áreas e o mapa de relacionamentos.

**LIMITAÇÕES:** A interface com o usuário não é muito amigável em termos de detecção de erros no fornecimento dos dados. O número máximo de departamentos que podem ser posicionados é 18.

#### 3.4.1.19 - MATCH

**NOME:** MATCH

**AUTORES:** Benoit Montreuil, H. Donald Ratliff e Marc Goetschalckx

**CARACTERÍSTICAS:** O sistema MATCH foi desenvolvido em um computador mainframe CYBER, utilizando um terminal de vídeo gráfico Chromatics, onde se pode manipular os blocos do layout e os menus por meio de uma "light pen". Um código de cores foi desenvolvido para representar os vários tipos de setores a serem arranjados.

*"O método de layout "MATCH"... inicia com um grafo onde cada vértice representa um departamento ou bloco, e constrói-se a partir dele um subgrafo onde está ... um grafo de adjacência para o layout ótimo. No grafo inicial, a aresta contendo os vértices  $i$  e  $j$  recebe um valor  $w_{ij}$  que representa a conveniência de se ter os departamentos  $i$  e  $j$  adjacentes no layout." (Montreuil, Ratliff e Goetschalckx, 1987, p. 274)*

**LIMITAÇÕES:** Os layouts gerados pelo sistema às vezes não são viáveis na prática e necessitam de várias adaptações por parte do usuário.

#### 3.4.1.20 - FLUKES

**NOME:** Facility Layout Using Knowledge-based Expert System

**AUTORES:** Geeju Moon e Keith L. McRoberts

**CARACTERÍSTICAS:** Este sistema especialista, escrito em linguagem FORTRAN, se divide nos seguintes estágios: estágio 1 - o arquivo de dados fornecidos pelo usuário é lido, verificando-se as restrições físicas da edificação; estágio 2 - departamentos

com incompatibilidades (tal como na adjacência entre um setor com material inflamável e outro com uma caldeira) são realocados, visando sua separação. Este rearranjo, no entanto, deve respeitar as restrições físicas e reduzir o custo total de transporte de materiais: estágio 3 - realocação de setores de mesma área ou adjacentes. O procedimento é repetido até que não haja mais diminuição nos custos de movimentação de materiais. Os fatores considerados pelo programa, com a finalidade de processamento são

*"limitações arquitetônicas, segurança, preferências do usuário, utilidades relações entre atividades, planos de expansão e o esquema básico dos setores, além do custo de movimentação de materiais."* (Moon e McRoberts, 1989, p. 47)

**LIMITAÇÕES:** Os custos de movimentação de materiais da solução final do sistema são maiores do que os custos obtidos com a aplicação de outros métodos.

#### 3.4.1.21 - MOCRAFT

**NOME:** Multi Objective CRAFT method

**AUTORES:** Joseph A. Svestka

**CARACTERÍSTICAS:** O programa é basicamente uma atualização do sistema CRAFT (ver seção 3.4.3.) e pode ser utilizado em microcomputadores do tipo PC XT, AT ou compatível. Suas características principais são: comporta até 40 departamentos; pode gerar arranjos baseados no custo de movimentação de

materiais e no fluxo de produção, simultaneamente; oferece a opção de utilizar distâncias retilíneas ou Euclidianas:

*"dá ao usuário a flexibilidade de entrar, editar, salvar, expor ou substituir, em qualquer ordem, qualquer dos dados do problema ...; ... fornece ao usuário a habilidade de imprimir, expor e editar em vídeo colorido de alta resolução, um layout ... ou imprimir posições especificadas; ... está implementado com uma interface inteligente e amigável que inclui telas de ajuda, a capacidade de ... levar o cursor à operação mais provável a seguir, oferecendo a opção de corrigir erros ...; ... possibilita a opção de sair do programa, executar uma ou mais funções do DOS ... e retornar ao programa."* (Svestka, 1990, p. 14 e 15)

**LIMITAÇÕES:** O sistema oferece recursos ao usuário para o projeto do layout de setores, mas não se adapta bem ao layout de máquinas.

#### 3.4.1.22 - IFLAPS

**NOME:** IFLAPS

**AUTORES:** S.R.T. Kumara, R.L.Kashyap e C.L. Moodie

**CARACTERÍSTICAS:** O sistema apresenta dois módulos: um deles utiliza três tipos de regras para selecionar a adjacência entre dois setores e o outro determina, através de regras de produção, quais departamentos terão prioridade no posicionamento.

**LIMITAÇÕES:** O método não leva em conta a inter-relação de um setor com todos os demais.

## 3.4.1.23 - COMLAD II

**NOME:** Computer LAYOUT Design II

**AUTOR:** Dileep R. Sule

**CARACTERÍSTICAS:** Este é um programa gráfico para o rearranjo físico dos setores no layout. Foi desenvolvido em um IBM PC e escrito em QuickBASIC. As opções que o usuário possui são: "intercambiar dois departamentos que podem ou não ter o mesmo tamanho ... fixar um ou mais setores em posições específicas ... mudar a forma de um departamento." (Ziai e Sule, 1991, p. 387)

**LIMITAÇÕES:** Por se tratar de um software essencialmente gráfico, e em virtude das dimensões dos desenhos, o número máximo de setores que podem ser arranjados é 20.

## 3.4.1.24 - FLAG

**NOME:** Facilities Layout Algorithm using Graphics

**AUTORES:** Ronald L. Ketcham e Eric M. Malstrom

**CARACTERÍSTICAS:** Este programa foi desenvolvido em um computador modelo VAX 11/720 e é composto de módulos e bibliotecas que são utilizados com o intuito de indicar a localização ótima de centros de trabalho baseando-se nos custos de movimentação de materiais. As características operacionais do software são: trabalha com centros de trabalho de quaisquer

formas geométricas (desde que compostas por linhas retas); mede o fluxo de materiais entre os pontos de saída e entrada de departamentos e não entre os baricentros de cada um; adapta o layout das máquinas ao rearranjo dos setores; leva em conta corredores e áreas de circulação; trabalha com setores de áreas diferentes; e "permite uma visualização intermediária, o que possibilita o processo interativo entre o computador e o usuário." (Ketcham, Malstrom e McRoberts, 1989, p.377).

**LIMITAÇÕES:** O uso do software se restringe a computadores do tipo "mainframe". Apesar de ser possível uma visualização do interior dos departamentos, ao se proceder o rearranjo dos setores, o layout das máquinas é alterado com base apenas no novo fluxo produtivo da fábrica, sem levar em conta fatores como a inter-relação entre equipamentos ou custos de transportes.

#### 3.4.1.25 - FACLO

**NOME:** FACility LayOut

**AUTORES:** Randy Allenbach e Mary Werner

**CARACTERÍSTICAS:** O software foi desenvolvido em linguagem Turbo Pascal em um microcomputador do tipo PC. Os dados de entrada são: "dimensões do layout, um layout inicial ..., áreas fixas (se uma área pode ser realocada), taxas de produção dos itens e o fluxo de produção entre áreas por unidade de tempo."

(Allenbach e Werner, 1990, p. 291). Há um módulo de interface com o usuário, com a possibilidade de se traçar o layout na tela, resgatar dados de arquivos e utilizar telas. É possível se obter um desenho do novo layout por meio de um "plotter". O objetivo do programa é aprimorar um layout já existente através da minimização dos custos de transporte e da distância entre equipamentos.

**LIMITAÇÕES:** O layout é dividido em unidades de área e todos os departamentos devem apresentar áreas que sejam múltiplas inteiras destas unidades. O número máximo de unidades em um setor é 75 e o tamanho máximo do layout é de 30 x 100 unidades.

### 3.4.2 - Programas para o layout de máquinas

#### 3.4.2.1 - CDUPL

**NOME:** Computerized Drafting and Updating of Plant Layout

**AUTORES:** Ishwar Gupta & Union Carbide Corporation

**CARACTERÍSTICAS:** Trata-se de um programa escrito em linguagem FORTRAN IV e desenvolvido em um computador IBM-360. O software possui um banco de dados contendo informações sobre geometria das máquinas, arquitetura dos departamentos e uma lista com as máquinas de cada setor. Pode-se utilizar o programa para avaliar várias alternativas de layout e atualizar os desenhos do arranjo físico para casos de expansão ou diminuição no número de

máquinas: rearranjo ou substituição de equipamentos dentro de um setor, entre setores ou entre prédios; e adição ou supressão de departamentos inteiros dentro da edificação.

**LIMITAÇÕES:** Apesar de ser um sistema que atende ao arranjo físico de máquinas e departamentos, trata-se basicamente de um programa voltado para desenho, desvinculado do projeto (cálculo) do layout.

#### 3.4.2.2 - INDECS

**NOME:** INTe grated Description and Evaluation of  
Conveyorized Systems

**AUTORES:** Shimon Y. Nof e R.C. Wilson

**CARACTERÍSTICAS:** Trata-se de um programa voltado para o projeto de instalações industriais que possuem sistemas automatizados de transporte interligando os postos de trabalho. O software divide-se em duas partes principais:

*"especificação de uma instalação industrial com transportadores via símbolos gráficos ... e ... análise do fluxo de produtos para avaliar a performance de um setor específico, aplicando um simulador, subrotinas de controle definidas pelo usuário e a base de dados." (Nof, 1980, p. 709 e 710)*

**LIMITAÇÕES:** A utilização do método se restringe a fábricas com transportadores.

### 3.4.2.3 - UA1/UA2/UA3

**NOME:** UA1/UA2/UA3

**AUTORES:** J. Driscoll e J.H.F. Sawyer

**CARACTERÍSTICAS:** O sistema em questão é composto por três programas: UA1, para validação dos dados; UA2, para o projeto do layout "estático"; e UA3, para simulação. "O objetivo global é o de criar um software ... capaz de projetar layout e avaliar, em uma base financeira, métodos alternativos de introdução de ... novos arranjos nos setores" (Driscoll e Sawyer, 1985, p. 784). O programa de projeto de layout, UA2, trabalha com a geometria da edificação em termos de coordenadas, pode ser usado tanto para o layout de setores como para o layout dos equipamentos. Pode-se também realizar o arranjo das máquinas no interior de uma célula, considerar equipamentos fixos e espaços vazios. O programa UA3 realiza a simulação da implantação do layout, considerando os custos necessários para executá-la.

**LIMITAÇÕES:** No arranjo físico dos equipamentos, uma série de adaptações do resultado final devem ser realizadas por parte do projetista, para que se possa implementar o novo arranjo físico.

### 3.4.2.4 - FLAT

**NOME:** FLAT

**AUTORES:** Sunderesh S. Heragu e Andrew Kusiak

**CARACTERÍSTICAS:** Os departamentos são divididos em grupos de três e os fluxos de produção entre cada par de máquinas dentro do grupo são analisados, com a finalidade de se aproximar os equipamentos que mais se inter-relacionam. O sistema pode trabalhar com setores de áreas distintas.

**LIMITAÇÕES:** O software trabalha com posições pré-especificadas, onde os setores podem se situar, o que dificilmente ocorre na prática.

#### 3.4.2.5 - FADES

**NOME:** FADES

**AUTORES:** E.L. Fisher e Shimon Y Nof

**CARACTERÍSTICAS:** Este sistema especialista aborda o problema do arranjo físico através da seleção de equipamentos visando atingir um nível mínimo de tecnologia e realizar uma análise de viabilidade econômica. Sua base de dados trabalha com procedimentos, fatos e regras. Os dados de entrada são o fluxo de produção, as distâncias entre equipamentos e os custos de movimentação de materiais.

**LIMITAÇÕES:** O software trabalha com distâncias pré-fixadas entre máquinas, tornando-se de certa forma inflexível.

### 3.4.2.6 - EXSYS

**NOME:** EXSYS

**AUTORES:** D.D. Wolfigram, J.J. Dear e C.S. Galbraith

**CARACTERÍSTICAS:** Este é um sistema especialista, escrito em linguagem C e desenvolvido em um IBM PC. As informações a serem fornecidas pelo usuário são:

*"Número total de peças ... Para cada peça: a quantidade e fluxo produtivo ... Dimensões do chão de fábrica ... Posição e dimensões do almoxarifado ... Restrições de posicionamento (se houver) de máquinas ou estoques ... Nível de automação baseado no tipo de controle dos sistemas de manufatura ... Grau de flexibilidade da produção ... exigências de transporte para que o programa selecione o equipamento apropriado de movimentação de materiais ... taxa de proximidade (se houver) entre dois equipamentos." (Abdou e Dutta, 1990, p.692)*

O sistema é composto por seis conjuntos de regras: regras para determinação do tipo do layout, para seleção dos equipamentos de movimentação de materiais, para o arranjo físico das máquinas, para determinação do mapa de relacionamento entre atividades, para seleção do algoritmo de arranjo físico dos equipamentos e verificação da viabilidade do layout, frente às restrições físicas existentes.

**LIMITAÇÕES:** Este sistema é bastante amplo, como se verifica pelas regras contidas nele. O único detalhe a ressaltar é que o campo de atuação do software reside principalmente nos sistemas automatizados, tais como FMC e FMS.

## 3.4.2.7 - KBML

**NOME:** Knowledge-Based system for Machine Layout

**AUTORES:** Sunderesh S. Heragu e Andrew Kusiak

**CARACTERÍSTICAS:** Este sistema baseado no conhecimento foi desenvolvido em um computador SYMBOLICS 3650 e codificado em LISP. Possui quatro módulos: uma base de dados sobre o layout das máquinas, sendo estas informações fornecidas pelo usuário; uma base de modelos e algoritmos, que armazena (na forma de "frames") os algoritmos a serem utilizados no processamento; uma base de conhecimento contendo cinco tipos de regras (59 no total) para solucionar o problema do arranjo físico; e um motor de inferência para realizar o processamento. Os dados a serem fornecidos ao sistema são

*"o número de máquinas a serem posicionadas ... a matriz de fluxo ... a matriz de espaçamentos ... a matriz de relacionamentos ... as dimensões das máquinas ... as restrições de posicionamento (se houver) dos equipamentos ... o tipo de layout ... o tipo de sistema de transporte ... dimensões do chão de fábrica" (Heragu et al, 1990, p. 623 )*

**LIMITAÇÕES:** Assim como o sistema EXSYS (3.4.2.6), o sistema KBML possui recursos bastante vastos, aplicando-se a diversas variações de layouts. Seu uso, no entanto, é recomendado originariamente para sistemas automatizados de manufatura.

### 3.4.3 - Avaliação dos softwares apresentados

No início da seção 3.4, comentou-se a diferença na complexidade dos dois tipos de programas: aqueles voltados para o projeto do layout de setores e os que se propõem a solucionar o caso do layout de máquinas. Após a descrição dos 32 softwares pesquisados, nota-se que apenas sete deles pertencem ao segundo tipo, enquadrando-se no escopo deste trabalho. No entanto, estes softwares não possuem a totalidade de características desejáveis que tornam a sua implementação vantajosa. Entre os requisitos que o software deve ter para realizar o projeto do layout das máquinas no contexto da manufatura Just in Time destacam-se três, em especial:

a) Dotar o layout de certas características desejáveis, como o arranjo celular, a racionalização no aproveitamento de espaços, a minimização nos transportes, etc.;

b) Ser adaptável a qualquer tipo de fábrica que produza de maneira discreta, ou seja, cuja produção seja medida em unidades inteiras; e

c) Fornecer ao usuário uma planta do setor produtivo com o novo layout projetado.

Analisando-se os 7 programas do item 3.4.2 em relação a estes três requisitos, percebe-se que nenhum deles é capaz de cumprir os três requisitos simultaneamente, de acordo com o quadro 3.

Quadro 3: Avaliação dos softwares em relação aos requisitos de projeto .

<b>SOFTWARE</b>	<b>REQ. (a)</b>	<b>REQ. (b)</b>	<b>REQ. (c)</b>
<b>CDUPL</b>		x	x
<b>INDECS</b>			x
<b>UA1/UA2/ UA3</b>		x	x
<b>FLAT</b>			x
<b>FADES</b>		x	x
<b>EXSYS</b>	x		x
<b>KBML</b>	x		x

A partir da análise do quadro 3, torna-se visível a necessidade de se desenvolver um software alternativo aos programas existentes . Este trabalho tem por objetivo apresentar um modelo que possa atender aos três requisitos apresentados.

## **CAPÍTULO 4**

### **HIPÓTESES UTILIZADAS NO MODELO COMPUTACIONAL**

Neste capítulo, haverá uma apresentação dos métodos matemáticos e dos algoritmos utilizados nos diversos módulos que compõem o modelo computacional, a ser descrito no capítulo 5.

As hipóteses selecionadas para utilização no modelo constituem as abordagens matemáticas consideradas mais simples e eficazes para implementação computacional, dentre a série de métodos pesquisados.

A abordagem dada para o problema do layout industrial tem como característica principal a busca da maneira mais simples para se alcançar uma boa solução para o problema. Entende-se por "boa solução", um arranjo físico do setor produtivo que requeira o menor número possível de atividades desnecessárias, que não adicionam valor ao produto, já mencionadas no capítulo 2. A consequência disso será a concentração de esforços nas atividades

realmente importantes, e que contribuem para a cadeia de valor dos itens fabricados.

A ênfase dada à expressão "boa solução" reside no fato de que não é objetivo do algoritmo atingir a solução *ótima*, ou seja, um arranjo físico que retrate as alternativas com *máximo* valor agregado ou *mínimo* custo, ou ambas simultaneamente. A razão disso é a complexidade necessária para que o algoritmo tenha este poder, em virtude da natureza do problema. As restrições existentes tornam os objetivos, de maximização ou minimização de parâmetros, um pouco distantes. Deve-se fazer uma análise custo/benefício entre as metas a atingir e os caminhos que levam até elas. Aplicando-se esta análise ao problema do layout, chega-se à conclusão de que uma boa solução é aquela que representa um "trade-off" (balanço) entre agregação de valor, redução de custos e o tempo necessário para sua concretização.

A importância do modelo computacional apresentado neste trabalho encontra-se na procura da melhor solução possível, num universo delimitado por restrições de ordem prática. As vantagens que o sistema trará são a diminuição nos custos de transporte e estoques intermediários, eliminação de esperas excessivas, maior flexibilidade de produção, racionalização na ocupação do espaço físico e um fluxo de pessoas mais seguro e sem atropelos.

A vantagem de se ter o processo de projeto do layout documentado, e sempre disponível para análise e atualização, será a maior facilidade para a integração da manufatura, quando os

vários departamentos da empresa poderão ter acesso aos dados sobre o arranjo físico e terão como utilizá-los como "insights" para suas atividades.

Os critérios para seleção destes métodos são a qualidade das soluções apresentadas, a simplicidade, o consumo estimado de memória e processamento, o pequeno número de etapas necessárias para se alcançar a solução do problema e a adequação destas soluções aos ambientes de manufatura existentes.

#### 4.1 - ESCOLHA DOS MÉTODOS MATEMÁTICOS PARA UTILIZAÇÃO NO MODELO

No capítulo 3, foram apresentadas diversas abordagens para a solução do problema do layout industrial, sendo então comentadas suas vantagens e desvantagens. Neste item, estas abordagens serão avaliadas em relação a sua aplicabilidade no caso do projeto de layout industrial no contexto Just in Time.

Deve-se notar, primeiramente, que a principal diretriz para o projeto do layout, no caso do modelo a ser proposto, é a formação de células de manufatura, a partir do arranjo físico existente. Sendo assim, necessita-se, inicialmente, de um método que seja capaz de fornecer informações precisas sobre quais os agrupamentos de máquinas que propiciam a maior redução nos transportes e a aproximação de equipamentos com fortes inter-relações. Neste caso, optou-se por um método de grande eficiência

e rapidez, capaz de, simultaneamente, e em um único processo, fornecer estes dados. Este método é o **Algoritmo por Ordem de Ranking (ROC)**, a ser comentado no item 4.2.1.

Com a finalidade de estabelecer uma maior redundância no processo de agrupamento por células, em virtude da importância dos resultados a serem obtidos, além de se ter um caminho alternativo até a solução, entendeu-se que era necessário dispor de uma outra abordagem para o agrupamento celular das máquinas. Este método alternativo é o **Algoritmo Linear para o Agrupamento de Células**, apresentado no item 4.2.2.

Em relação aos métodos de projeto de arranjo físico propriamente ditos, percebe-se que estes devem cumprir certos requisitos para que se possa obter soluções adequadas para o problema do arranjo físico no contexto JIT, destacando-se os seguintes:

- a) Obter boas soluções para o problema, fornecendo informações quantitativas sobre os ganhos em relação à situação presente;
- b) Utilizar racionalmente recursos de memória e processamento; e
- c) Apresentar um pequeno número de etapas até a solução do problema.

Da mesma maneira como se avaliou os softwares que realizam o projeto de layout das máquinas, no item 3.4.3, será realizada a seguir uma verificação de quais métodos atendem a estes três

requisitos. Esta avaliação está demonstrada no quadro 4. Deve-se ressaltar que certos métodos não foram submetidos a esta avaliação por não se enquadrarem no escopo do trabalho, como no caso de métodos em que se considera um alto grau de incerteza ou inconstância em relação aos dados do problema, como no caso dos Conjuntos Difusos, Simulação, Robustez, e do Layout Dinâmico. A Teoria dos Grafos não foi avaliada em virtude de se concentrar no problema do arranjo físico de departamentos.

Quadro 4: Avaliação dos métodos de projeto de layout em relação aos requisitos a), b) e c),

MÉTODO	REQ. (a)	REQ. (b)	REQ. (c)
Método dos Elos	x	?	x
Método das Seqüências Fictícias	x	?	
Método dos Torques	x	?	
Método DE-PARA	x	?	x
Método SLP	x		x
Método do Triângulo	x	?	
Program. Quadrática	x		

Observando-se o quadro 4, nota-se que apenas os métodos dos Elos, DE - PARA e SLP cumprem dois dos três requisitos apresentados. O sinal "?" demonstra a inexistência de informações em relação à implementação computacional da maioria destes métodos. Neste requisito, o método SLP apresenta um baixo rendimento, pois é um dos poucos métodos sistemáticos já testados por meio de um software, no caso o programa RMA - COMP I, já citado no item 3.4.1.4. Sendo assim, conclui-se que os métodos dos Elos e DE - PARA são os mais indicados para inclusão no modelo computacional, em um módulo de arranjo físico. Por apresentar características qualitativas e quantitativas, o método dos Elos é o mais indicado para utilização neste caso.

A idéia, ao se incluir o método dos Elos no modelo computacional, é possuir um módulo de projeto de layout que seja acionado em ocasiões em que o arranjo celular não forneça resultados satisfatórios. A qualidade da solução pelos métodos da Tecnologia de Grupo é aferida por meio da **eficiência e eficácia** do agrupamento, conceitos discutidos no item 4.3.

## 4.2 - ALGORITMOS PARA AGRUPAMENTO DE CÉLULAS

O problema da Tecnologia de Grupo (GT), conforme discutido no item 3.2, pode ser representado pela **Matriz de Incidência** máquinas x peças. Os elementos  $a_{ij}$  da matriz recebem valores

iguais a 1 ou 0, conforme a máquina  $i$  seja usada ou não para processar a peça  $j$ .

Os algoritmos para agrupamentos de células visam modificar o arranjo dos elementos da matriz de incidência de modo que todos os elementos não-nulos se posicionem numa configuração chamada de "quadrados diagonais", conforme demonstrado na seção 3.2. Quanto aos elementos nulos, estes devem estar sempre em posições externas aos quadrados diagonais. Com este rearranjo, definem-se as células de máquinas e as famílias de peças simultaneamente.

Dentre os vários algoritmos existentes que transformam a Matriz de Incidência numa configuração por agrupamento de células, destacam-se duas abordagens bastante simples e de rápida aplicação (características importantes do ponto de vista da utilização de recursos computacionais de memória e processamento). Estas duas abordagens são o **Agrupamento por Ordem de Ranking (ROC)** de John Russel King (apud Lorini, 1993) e o **Algoritmo Linear para o agrupamento de células**, desenvolvido por Jerry C. Wei e Gary M. Kern (1989). A finalidade de se ter duas abordagens para o cálculo das células é possuir alternativas diferentes e poder escolher a solução que apresentar maiores valores para a eficiência e a eficácia.

#### 4.2.1 - Algoritmo de Agrupamento por Ordem de Ranking

Este método de arranjo da Matriz de Incidência, criado por John R. King, tem por característica considerar as linhas e colunas da matriz como palavras binárias e ordená-las de acordo com o seu valor. Segundo Lorini (1993, p. 70),

*"um valor decimal correspondente a cada palavra binária é atribuído para linhas e colunas da matriz. Com estes valores, o algoritmo ROC rearranja as linhas e colunas de modo iterativo, em um número finito de alterações, até que linhas e colunas fiquem dispostas em ordem decrescente."*

O método, de extrema simplicidade, será ilustrado por meio de um exemplo numérico, para melhor visualização. Na figura 6, encontra-se a Matriz de Incidência MI, que contém os fluxos de produção de cinco peças, em termos das quatro máquinas existentes em um setor de uma empresa fictícia.

$$\begin{array}{c}
 \text{MI} = \text{MÁQUINAS} \\
 \left| \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} \right.
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \text{PEÇAS} \\
 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \\
 \left( \begin{array}{ccccc}
 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\
 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 1 & 1
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

Fig. 6: Matriz de Incidência MI peças x máquinas.

O cálculo do ordenamento das linhas da matriz MI está representado na figura 7.

$$\begin{array}{c}
 \text{PEÇAS} \\
 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \\
 2^4 \ 2^3 \ 2^2 \ 2^1 \ 2^0 \\
 \\
 \text{MI} = \text{MÁQUINAS} \left| \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} \right. \left( \begin{array}{ccccc} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \begin{array}{c} \text{ORDEM} \\ 1 \\ 3 \\ 2 \\ 4 \end{array}
 \end{array}$$

Fig. 7: Cálculo do ordenamento das linhas da Matriz de Incidência MI.

$$\text{MÁQ.1} = \text{MÁQ.3} \Rightarrow (2^4 \cdot 1) + (2^3 \cdot 0) + (2^2 \cdot 1) + (2^1 \cdot 0) + (2^0 \cdot 0) = 20$$

$$\text{MÁQ.2} = \text{MÁQ.4} \Rightarrow (2^4 \cdot 0) + (2^3 \cdot 1) + (2^2 \cdot 0) + (2^1 \cdot 1) + (2^0 \cdot 1) = 11$$

O mesmo procedimento é aplicado às colunas da Matriz de Incidência MI, conforme a figura 8.

$$\begin{array}{c}
 \text{PEÇAS} \\
 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \\
 \\
 \text{MI} = \text{MÁQUINAS} \left( \begin{array}{cc} 1 & 2^3 \\ 3 & 2^2 \\ 2 & 2^1 \\ 4 & 2^0 \end{array} \right) \left( \begin{array}{ccccc} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \\
 \\
 \text{ORDEM} \quad 1 \ 3 \ 2 \ 4 \ 5
 \end{array}$$

Fig. 8: Cálculo do ordenamento das colunas da Matriz de Incidência MI.

$$\text{PEÇA1} = \text{PEÇA3} \Rightarrow (2^3 \cdot 1) + (2^2 \cdot 1) + (2^1 \cdot 0) + (2^0 \cdot 0) = 10$$

$$\text{PEÇA2} = \text{PEÇA4} = \text{PEÇA5} \Rightarrow (2^3 \cdot 0) + (2^2 \cdot 0) + (2^1 \cdot 1) + (2^0 \cdot 1) = 3$$

O resultado final do reordenamento de linhas e colunas da matriz MI está representado na figura 9.

$$\begin{array}{r}
 \text{MI} = \text{MÁQUINAS} \\
 \left( \begin{array}{c} 1 \\ 3 \\ 2 \\ 4 \end{array} \right) \left( \begin{array}{ccccc} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right)
 \end{array}$$

PEÇAS  
13 2 4 5

Fig. 9: Reordenamento da Matriz de Incidência MI e cálculo das células de máquinas e famílias de peças.

CÉLULA 1: MÁQUINAS 1 e 3

FAMÍLIA 1: PEÇAS 1 e 3

CÉLULA 2: MÁQUINAS 2 e 4

FAMÍLIA 2: PEÇAS 2, 4 e 5

#### 4.2.2 - Algoritmo Linear para Agrupamento de Células

Antes da apresentação deste método, deve-se introduzir o conceito de Matriz de Similaridade, definida como uma matriz quadrada de ordem  $m$ , sendo  $m$  o número de máquinas existentes no setor. A Matriz de Similaridade é construída através do cálculo do **escore de similaridade**  $c_{ij}$  entre duas máquinas  $i$  e  $j$ , calculado pela expressão

$$c_{ij} = \sum_{k=1,p} \Gamma(a_{ik}, a_{jk}) \quad (6)$$

sendo,

$$\Gamma(a_{ik}, a_{jk}) = \begin{cases} p-1, & \text{se } a_{ik} = a_{jk} = 1 \\ 1, & \text{se } a_{ik} = a_{jk} = 0 \\ 0, & \text{se } a_{ik} \neq a_{jk} \end{cases} \quad (7).$$

$p$ , neste caso, é o número de peças produzidas no setor.

O procedimento de agrupamento das máquinas nas células é feito de acordo com os seguintes passos:

**Passo 1:** Na Matriz de Similaridade, agrupar as máquinas com maiores escores de similaridade entre si.

**Passo 2:** Selecionar, entre as máquinas restantes, o maior escore de similaridade entre duas máquinas  $i$  e  $j$ . Quatro diferentes estados podem estar ocorrendo:

*"(a) Nem a máquina  $i$  nem a máquina  $j$  foram alocadas a uma célula. Neste caso, uma nova célula é criada, contendo apenas estas duas máquinas.*

*(b) A máquina  $i$  já foi alocada a uma célula, mas a máquina  $j$  não. Neste caso, a máquina  $j$  é alocada à célula que contém a máquina  $i$ .*

*(c) As máquinas  $i$  e  $j$  já estão posicionadas na mesma célula. Deve-se então ignorar este escore de similaridade selecionado ...*

*(d) As máquinas  $i$  e  $j$  estão alocadas a células diferentes. O escore de similaridade demonstra que as duas células podem ser unidas em um processamento posterior." (Wei e Kern, 1987, p.2057)*

**Passo 3:** Repetir o passo 2 até que todas as  $m$  máquinas tenham sido posicionadas em uma célula.

**Passo 4:** Os passos 2 e 3 criaram o número máximo possível de agrupamentos. Se não houver peças "gargalo", ou seja, peças processadas em mais de uma célula, a solução é ótima. No entanto, se for desejável reduzir o número de células, deve-se retornar ao passo 2(d) e verificar se isto é possível.

**Passo 5:** Repetir o passo 4 até que todas as restrições quanto ao número de células ou quantidade de máquinas em uma célula sejam atendidas.

Através de uma análise deste algoritmo, percebe-se que ele trabalha com condições pré-estabelecidas pelo projetista, o que pode reduzir o tempo de processamento e de procura da solução. Segundo Wei e Kern (1989), "um programa que aplica o ... algoritmo foi codificado em True Basic ... e pode ser processado em micro-computadores" (p. 2061).

#### 4.3 - MEDIDAS DE EFICIÊNCIA E EFICÁCIA DE UM ARRANJO CELULAR

Após o projeto das células e das famílias de peças, utilizando-se os métodos de agrupamento apresentados no item 4.2, deve-se dispor de um meio para avaliar a qualidade do arranjo celular obtido. Esta qualidade pode ser expressa por duas medidas: a eficiência e a eficácia.

A **eficiência** ( $\eta$ ) de um arranjo celular deve levar em conta o tamanho da Matriz de Incidência máquinas x peças (número de linhas x número de colunas), os elemento nulos e não-nulos presentes na matriz e a distribuição destes elementos na forma de "quadrados diagonais", conforme o exposto na seção 3.2. De acordo com o desenvolvimento da fórmula de Chandrasekharan e Rajagopalan, realizada por Kumar e Chandrasekharan (1990), a

expressão que representa a eficiência de um arranjo celular é dada por

$$\eta = 1 - \frac{e_o + e_v}{m \times n} \quad (8).$$

sendo  $\eta$ : Eficiência do arranjo celular;

$e_o$ : Número de elementos da Matriz de Incidência do tipo  $a_{ij} = 1$  situados fora dos quadrados diagonais;

$e_v$ : Número de elementos da Matriz de Incidência do tipo  $a_{ij} = 0$  situados no interior dos quadrados diagonais;

$m$ : Número de linhas da matriz; e

$n$ : Número de colunas da matriz.

Os elementos  $e_v$  e  $e_o$  representam perdas de eficiência devido a transportes de peças de uma célula para outra e devido ao não-processamento de algumas peças por parte de algumas máquinas durante certos períodos, respectivamente.  $m$  e  $n$  representam o número de máquinas do setor e o número de tipos de peças processadas, pela ordem.

A medida de eficiência de um arranjo celular, apesar de expressar relativamente bem a qualidade de um agrupamento, apresenta algumas deficiências em casos extremos. Segundo Kumar et al (1990, p. 237).

*"um grande defeito da eficiência do agrupamento ... é seu baixo poder discriminante. É óbvio que  $(e_o + e_v)$  é muito menor do que o tamanho da matriz, ' $m.n$ '. Assim, para matrizes grandes, o termo  $(e_o + e_v) / m.n$  receberá valores da ordem de  $10^{-2}$ , o que*

*condus a uma eficiência próxima a um. ... Uma outra séria falha reside na definição da eficiência zero. ... Eficiências próximas a zero não ocorrem nunca, mesmo nas piores situações dos quadrados diagonais."*

Para evitar distorções na avaliação de um arranjo celular, Kumar et al apresenta o conceito de **eficácia** do agrupamento, expresso pela seguinte fórmula:

$$\Gamma = \frac{1 - \varphi}{1 + \phi} \quad (9).$$

sendo

$$\varphi = \frac{e_o}{e} \quad (10);$$

$$\phi = \frac{e_v}{e} \quad (11);$$

$\Gamma$ : Eficácia do arranjo celular; e

e: Número total de elementos  $a_{ij} = 1$  da Matriz de Incidência.

A importância desta expressão da eficácia do agrupamento se deve à sua maior insensibilidade aos casos extremos, além de se considerar que os elementos  $e_o$  e  $e_v$  têm influências distintas sobre a qualidade do arranjo. Sabe-se que o transporte de material de uma célula para outra (expresso por  $\varphi$ ) é bem mais nocivo do que a ociosidade temporária de algumas máquinas (expressa por  $\phi$ ). Esta diferença na importância das parcelas  $\varphi$  e  $\phi$  é considerada pela fórmula. Segundo Kumar et al (1990, p. 240),

"os vazios nos blocos diagonais se tornam cada vez menos significantes nas baixas eficácias."

#### 4.4 - MÉTODO DOS ELOS

Conforme descrito na seção 3.3.1, o Método dos Elos para o arranjo físico de unidades de produção é baseado em uma matriz de transportes, onde se posicionam as máquinas e as quantidades de material transportado entre uma unidade e todas as demais. A idéia é aproximar as máquinas com maiores inter-relacionamentos e afastar aquelas sem grandes ligações.

O motivo para a escolha deste método, dentre os diversos métodos sistemáticos apresentados, deve-se ao fato de que esta abordagem segue critérios quantitativos e qualitativos para a procura da solução e apresenta como características a simplicidade e o pequeno número de etapas para se obter os resultados, o que facilita a transformação do método em um algoritmo.

A transformação deste método sistemático em um algoritmo computacional se dá pela divisão do método nas seguintes etapas:

**1ª Etapa:** Levantamento de informações sobre o número de máquinas existentes e as quantidades de material transportado entre equipamentos. Estas informações são apresentadas na Matriz de Relacionamentos.

**2ª Etapa:** Somatório das inter-relações de cada máquina com as demais. O valor obtido para cada máquina servirá para estabelecer um ranking para a colocação dos equipamentos no layout.

**3ª Etapa:** Arranjo físico dos equipamentos, com base no ranking obtido na etapa anterior. As máquinas com maior número de inter-relações serão as primeiras a ser posicionadas, seguidas das demais. A idéia é estabelecer um núcleo de máquinas bastante utilizadas e à medida em que se percorre o layout no sentido do centro para a periferia, menores são os valores das inter-relações e piores as colocações das máquinas no ranking.

#### 4.5 - CÁLCULO DE ÁREAS MÍNIMAS

O problema que este trabalho procura solucionar é de como arranjar máquinas e equipamentos de um determinado setor produtivo em uma área física destinada a este fim. A complexidade está no fato de que, além dos equipamentos poderem ser posicionados em inúmeros locais, o somatório das áreas das máquinas a arranjar é inferior à área total da edificação. Uma dificuldade adicional se deve ao fato de que a área total das máquinas não deve se limitar apenas às suas dimensões físicas (largura, comprimento e altura). Outros fatores devem ser considerados, tais como a interface entre o equipamento e o operador, a circulação de pessoas, manutenção, etc. Pode-se

afirmar que a área de utilização de um equipamento leva em conta todas estas características, resultando na definição da área mínima de cada máquina, sendo que esta deve ser a área a ser considerada para o projeto do arranjo físico.

Segundo Valle (1975, p. 83), os fatores a serem considerados na definição desta área mínima são:

*"A área ocupada pelo equipamento propriamente dito, em sua condição mais desfavorável. No caso de uma plaina de mesa . . . , toda a área coberta pelo deslocamento da mesa deverá ser considerada como área própria do equipamento. . . .*

*A área ocupada ao redor do posto de trabalho ou do equipamento, por . . . matéria-prima, . . . cavacos, rebarbas e peças acabadas . . . .*

*A área necessária ao operador . . . ao redor do equipamento ou do posto de trabalho, considerando-se suas necessidades mínimas de acesso, conforto e segurança. . . .*

*A área necessária à alimentação e à remoção de material de um equipamento. . . .*

*A área necessária às instalações elétricas e hidráulicas ligadas diretamente ao equipamento . . . .*

*Deve-se levar em conta a necessidade de uma faixa de circulação para pessoal, empilhadeiras etc., comum a todos os equipamentos e postos de trabalho."*

Para o cálculo matemático da área mínima de um equipamento, um método que pode ser utilizado é a fórmula de Guerchet, citado por Valle (1975):

$$A = A_p + A_g + A_e \quad (12).$$

sendo:

**A:** Área mínima do equipamento;

**A<sub>p</sub>:** Área própria do equipamento, calculada a partir das dimensões geométricas da máquina;

$A_g$ : Área de gravitação, definida como a área ocupada pelo operador, pela matéria-prima e por estoques intermediários junto à máquina. A área de gravitação pode ser calculada pela expressão:  $A_g = A_p \times N$ , sendo  $N$  o número de lados da máquina que são efetivamente utilizados, seja pelo operador, para entrada ou para saída de material;

$A_e$ : Área de evolução, destinada à circulação de pessoal entre as máquinas e aos transportes internos. A área de evolução é expressa por:  $A_e = (A_p + A_g) \times K$ , sendo  $K$  um fator referente ao tipo e finalidade da instalação. Valores típicos para  $K$  encontram-se no Quadro 5.

Deve-se ressaltar que o Método das Áreas Mínimas não considera casos em que a matéria-prima possua dimensões superiores às dimensões das máquinas. Se tal fato vier a ocorrer, deve-se levar em conta as grandezas dimensionais do material para o cálculo da Área de Gravitação ( $A_g$ ).

Quadro 5: Valores do coeficiente K para o cálculo de Áreas Mínimas .

TIPO DE INSTALAÇÃO	K
Mecânica pesada com utilização de pontes rolantes para o manuseio de cargos	0,05 a 0,15
Linha de montagem com transportador mecânico	0,10 a 0,25
Indústria mecânica de precisão	0,75 a 1,00
Indústria mecânica leve	1,50 a 2,00
Indústria mecânica de uso geral (oficinas)	2,00 a 3,00

Fonte: (Valle, 1975, p. 86).

## CAPÍTULO 5

### O MODELO COMPUTACIONAL

#### 5.1 - CARACTERÍSTICAS DO MODELO COMPUTACIONAL

O objetivo básico deste capítulo é o de desenvolver um modelo computacional pelo qual seja possível (re)projetar o arranjo físico do setor produtivo de uma empresa, de acordo com as diretrizes da filosofia Just in Time. As razões do interesse pelo layout industrial decorrem da sua grande importância em relação ao processo de agregação de valor aos produtos. Segundo Tompkins e White (apud Rosenblatt, 1986, p. 76),

*"estima-se que entre 20% e 50% do total das despesas operacionais de manufatura são atribuídas à movimentação de materiais. O planejamento eficiente do arranjo físico pode reduzir estes custos em pelo menos de 10% a 30%."*

A idéia de se criar um modelo, ao invés de se utilizar os softwares já existentes, surgiu da constatação de que, dentre os mais de 30 programas pesquisados, não há o caso em que um software seja capaz de projetar o arranjo físico por dois métodos

alternativos. Esta condição é de extrema importância quando se deseja transformar um layout convencional em um layout celular. Ao se calcular as células, o novo arranjo obtido deve resultar em um agrupamento eficiente das máquinas, ou seja, apresentando um pequeno número de transportes entre células e uma grande inter-relação entre os equipamentos de uma mesma célula. Se tais condições não forem obedecidas, faz-se necessário rearranjar o layout por meio de outro método.

O modelo desenvolvido neste trabalho recebeu o nome de PLIAC (Projeto de Layout Industrial Auxiliado por Computador). Seu objetivo é rearranjar o layout de um setor de produção de uma fábrica e fornecer dados sobre a nova localização dos elementos que estão presentes no arranjo físico.

O programa PLIAC foi escrito em linguagem Turbo Pascal, versão 6.0, sendo indicado para aplicação em computadores do tipo PC. A escolha desta linguagem computacional ocorreu em decorrência de vários fatores, entre os quais destacam-se:

- ser uma linguagem voltada para a área científica, apresentando uma série de facilidades para a realização de cálculos matemáticos;
- apresentar uma série de estruturas que se prestam às exigências dos algoritmos de projeto; e

- ser uma linguagem largamente disseminada no meio acadêmico e científico, e, portanto, conhecida de um grande número de pessoas, em virtude de sua simplicidade e fácil aprendizado.

O programa PLIAC foi construído com o objetivo de servir aos projetistas de layout das empresas, ou seja, pessoas ligadas aos setores de Planejamento e Acompanhamento da Produção, mas, como há que se ter em mente a Integração da Manufatura, o software deve permitir que as pessoas de outros departamentos, tais como Gerência, Contabilidade, Marketing, Vendas, etc possam também utilizá-lo sem maiores dificuldades. Construiu-se uma interface que facilita a utilização do programa por parte destes usuários. No entanto, para propiciar, de fato, o entendimento e o uso mais rápido do software, sugere-se o desenvolvimento de uma interface realmente amigável aos usuários do programa, seguindo princípios definidos pela Ergonomia da informática.

## 5.2 - VISÃO GERAL DO MODELO

Nesta seção, apresentar-se-á um panorama geral de todo o modelo computacional, oferecendo-se uma visão global de todos os seus módulos. Nas seções 5.3 e 5.4, estes módulos serão examinados com mais detalhes.

O fluxograma geral do programa PLIAC, apresentando os módulos que o compõem, encontra-se na figura 10.

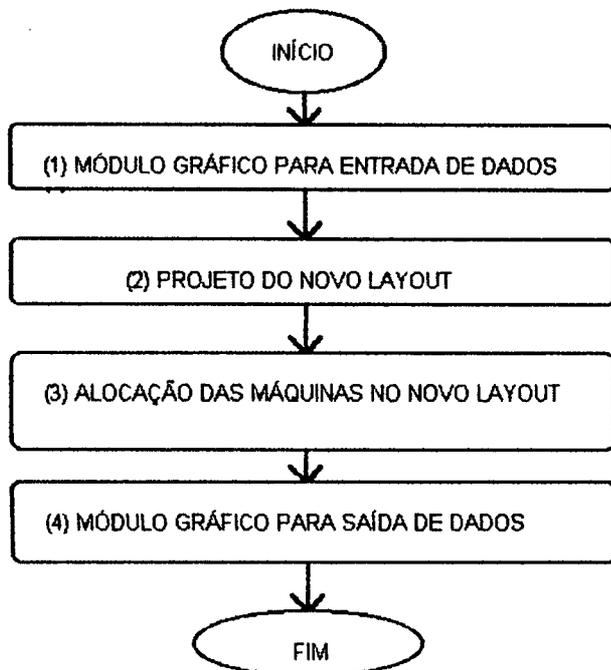
**PROGRAMA PLIAC**

Fig. 10: Fluxograma do programa PLIAC.

A seguir, realizar-se-á uma análise das características gerais de cada módulo do programa.

(1) **MÓDULO GRÁFICO PARA ENTRADA DE DADOS** - O primeiro módulo do programa PLIAC efetua um levantamento de informações sobre o layout existente no setor sob consideração. A entrada de dados ocorre através da leitura da planta do departamento, onde estão as dimensões e a localização de todos os equipamentos e restrições físicas existentes no departamento. É importante salientar que a utilização deste módulo pressupõe que o layout sob consideração está representado em um programa gráfico (por

exemplo, Autocad ou Microstation), tendo-se condições de coletar adequadamente as informações.

Após o levantamento de dados sobre a geometria do arranjo físico, transforma-se estas informações gráficas em valores numéricos, com a utilização de uma interface criada exclusivamente para este fim. Desta forma, o processo de entrada de dados torna-se automático, livrando o usuário do programa desta tarefa, reduzindo-se assim a possibilidade de ocorrência de erros.

A utilização de uma interface para leitura e interpretação de figuras geométricas demanda um certo período de tempo. Tendo em vista que a criação desta interface não se encontra no escopo do trabalho, este primeiro módulo computacional não foi desenvolvido.

A entrada de dados sobre as dimensões, localização de máquinas e restrições físicas, fluxos produtivos, volumes de produção de cada peça, tipos de máquinas, etc... será realizada pelo usuário utilizando uma interface alfanumérica.

(2) PROJETO DO NOVO LAYOUT - O módulo de projeto do novo arranjo físico do setor é composto por uma série de módulos de nível hierárquico inferior, representados no fluxograma da figura 11.

## (2) MÓDULO DE PROJETO DO NOVO LAYOUT

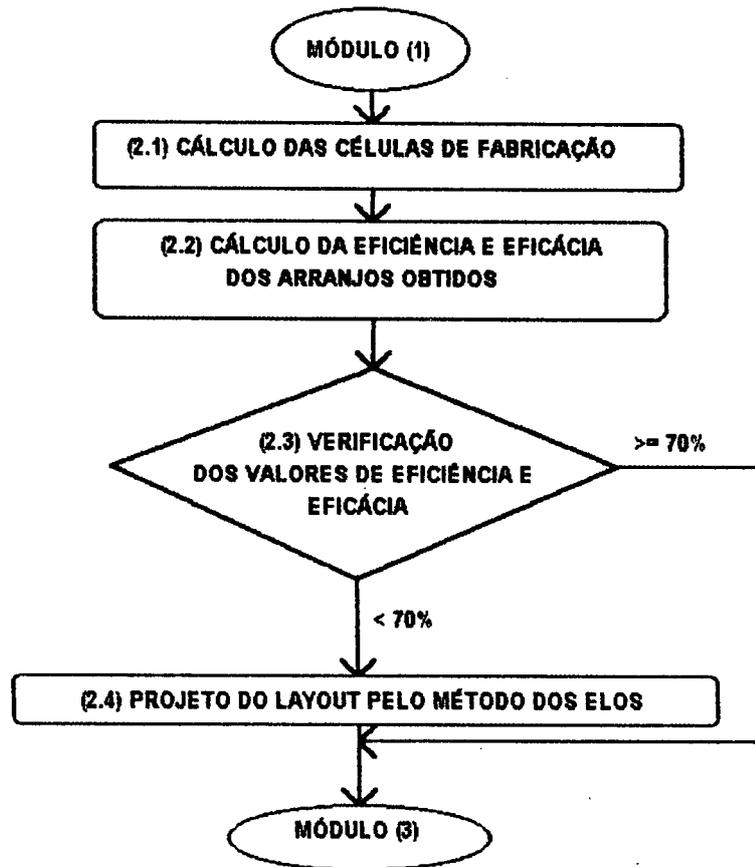


Fig. 11: Fluxograma do Módulo (2) do programa PLIAC.

Todos os módulos representados na figura 11 serão comentados detalhadamente no item 5.3. Por ora, deve-se ressaltar, a partir da observação da figura 11, a importância da existência do módulo (2.4), de projeto do layout pelo Método dos Elos.

A diretriz de projeto do layout industrial pelo programa PLIAC, é transformar o arranjo físico existente no setor em um layout por células de fabricação (calculadas por meio da Tecnologia de Grupo, no módulo, no módulo 2.1). No entanto, a simples transformação de arranjo físico convencional em um

arranjo celular, não garante a redução de custos de produção nem o aumento da produtividade. Deve-se determinar, primeiramente, a eficiência e a eficácia dos arranjos obtidos (módulo 2.2). Se estas duas grandezas apresentarem valores iguais ou superiores a um limite mínimo (como por exemplo 70%) pode-se afirmar que o layout celular realmente trará benefícios para o funcionamento do setor. Caso contrário, faz-se necessária a utilização de um método alternativo para o rearranjo físico dos equipamentos. Constata-se, então, a importância do Método dos Elos (2.4) nos casos em que o layout celular não apresentar bons resultados. De posse de duas alternativas em paralelo para o projeto do layout, a possibilidade de se implantar com sucesso um novo arranjo físico aumenta consideravelmente.

**(3) ALOCAÇÃO DAS MÁQUINAS NO NOVO LAYOUT** - Após o projeto do novo layout, com base em métodos da Tecnologia de Grupo ou Método dos Elos, deve-se partir para a fase de alocação das máquinas no novo arranjo físico. Um fluxograma geral desta etapa está apresentado na figura 12. Deve-se ressaltar que este fluxograma representa a seqüência de passos para se alocar as máquinas em células e, posteriormente, as células na planta do setor. Caso o arranjo físico projetado não seja do tipo celular, o posicionamento das máquinas, definido no Método dos Elos, é realizado no módulo (4).

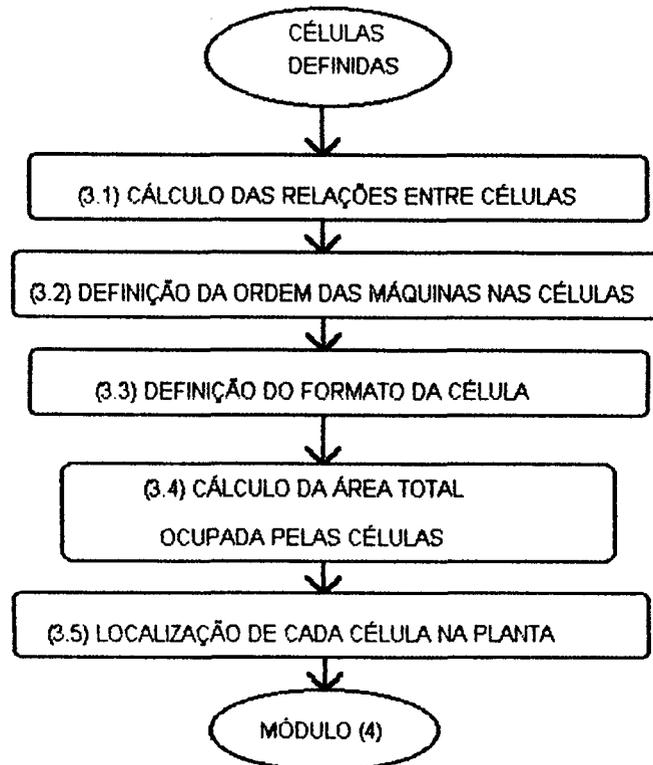
**(3) ALOCAÇÃO DAS MÁQUINAS NO NOVO LAYOUT**

Fig. 12: Fluxograma geral do Módulo (3) do programa PLIAC.

As etapas principais do módulo (3) do programa serão discutidas com maiores detalhes no item 5.4. Por ora, realizar-se-á uma descrição geral de suas características.

Neste módulo, trabalha-se com os dados obtidos no módulo anterior, de cálculo das células. A partir da definição de quais máquinas serão agrupadas em um arranjo celular, deve-se organizá-las de modo que o transporte entre células seja mínimo e realizado a curtas distâncias. Para isso, deve-se calcular a quantidade de peças movimentadas entre uma célula e outra (etapa 3.1). Este cálculo deve ser repetido para os componentes da célula, com a finalidade de ordenar suas máquinas de maneira que

aquelas com maiores inter-relações sejam aproximadas, procurando reduzir também os transportes em "contracorrente" (etapa 3.2).

Juntamente com a definição da ordem das máquinas nas células, deve-se adotar um formato para o seu arranjo físico. Esta configuração pode ser em linha, "U", "L", etc. dependendo do número de máquinas e de suas dimensões. Na etapa 3.3, este formato da célula é definido.

Após a definição da forma da célula, deve-se calcular a área ocupada por esta, a partir do cálculo das áreas mínimas de cada máquina. Isto se dá na etapa 3.4, onde se compara a área ocupada por todas as células e a área do setor, verificando-se a necessidade ou não de expansão na área construída.

Finalmente, na etapa 3.5, realiza-se a alocação das células no setor, de acordo com critérios como redução das distâncias de transporte e do fluxo em contracorrente. Após esta etapa, chega-se ao último módulo do programa, discutido a seguir.

**(4) MÓDULO GRÁFICO PARA SAÍDA DE DADOS** - Após a alocação das máquinas no novo layout, expressas por suas coordenadas, inicia-se o último módulo do programa, voltado para a saída de dados sob a forma de uma planta do novo layout projetado. Assim como no módulo (1), existe a necessidade de se dispor de uma interface para a passagem de dados numéricos para a forma de figuras geométricas. Neste trabalho, não se tem o objetivo de criar esta interface gráfica, em virtude de sua complexidade e do

tempo requerido para tal. Da mesma forma que o módulo (1), este módulo do programa não será implementado na sua forma gráfica, porém a saída de dados será realizada na forma alfanumérica.

### 5.3 - MÓDULO DE PROJETO DO NOVO LAYOUT

O módulo de projeto do novo layout do programa PLIAC está voltado para a formação de células de fabricação. A idéia é transformar o arranjo físico existente no setor produtivo em um layout celular, medir a eficiência deste novo arranjo e decidir por sua implantação, apoiando-se nos valores observados da eficiência e da eficácia do layout. Caso estes valores sejam inferiores a um limite mínimo, definido em função dos custos de transporte (usualmente em torno de 70%, segundo Kumar e Chandrasekharan (1990)), utiliza-se o Método dos Elos para o reprojeto do arranjo físico.

Esta parte do programa encontra-se dividida em quatro módulos, conforme mostra a figura 11, a saber:

- Cálculo das células de fabricação;
- Cálculo da Eficiência e Eficácia dos arranjos obtidos;
- Verificação dos valores da Eficiência e Eficácia; e
- Projeto do layout pelo Método dos Elos.

Nesta seção, os módulos de nível hierárquico inferior, que compõem o módulo de projeto do layout, serão apresentados com maiores detalhes.

### 5.3.1 - Cálculo das Células de Fabricação

O módulo de projeto do novo layout inicia-se com o cálculo das células de fabricação que possam ser formadas a partir dos dados sobre os fluxos de produção. O processo de formação destas células segue dois métodos contidos na Tecnologia de Grupo: o método ROC e o método do Algoritmo Linear, conforme o fluxograma da figura 13.

#### (2.1) CÁLCULO DAS CÉLULAS DE FABRICAÇÃO

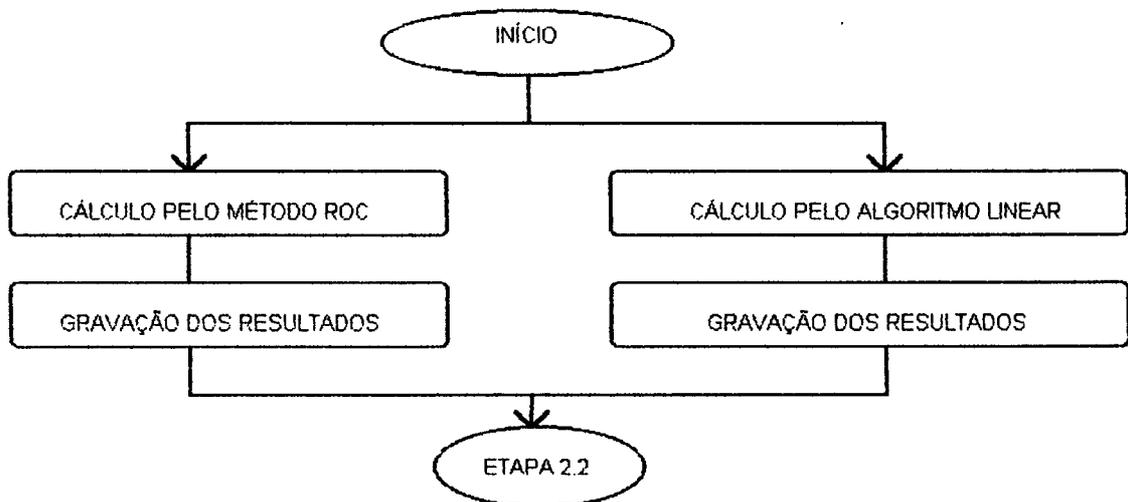


Fig. 13: Fluxograma do Módulo de Cálculo das Células de Fabricação.

### 5.3.1.1 - Cálculo das Células de Fabricação pelo Método ROC

O desenvolvimento computacional do método ROC (Rank Order Clustering), está representado pelo fluxograma da figura 14.

#### 2.1.1 - MÉTODO ROC

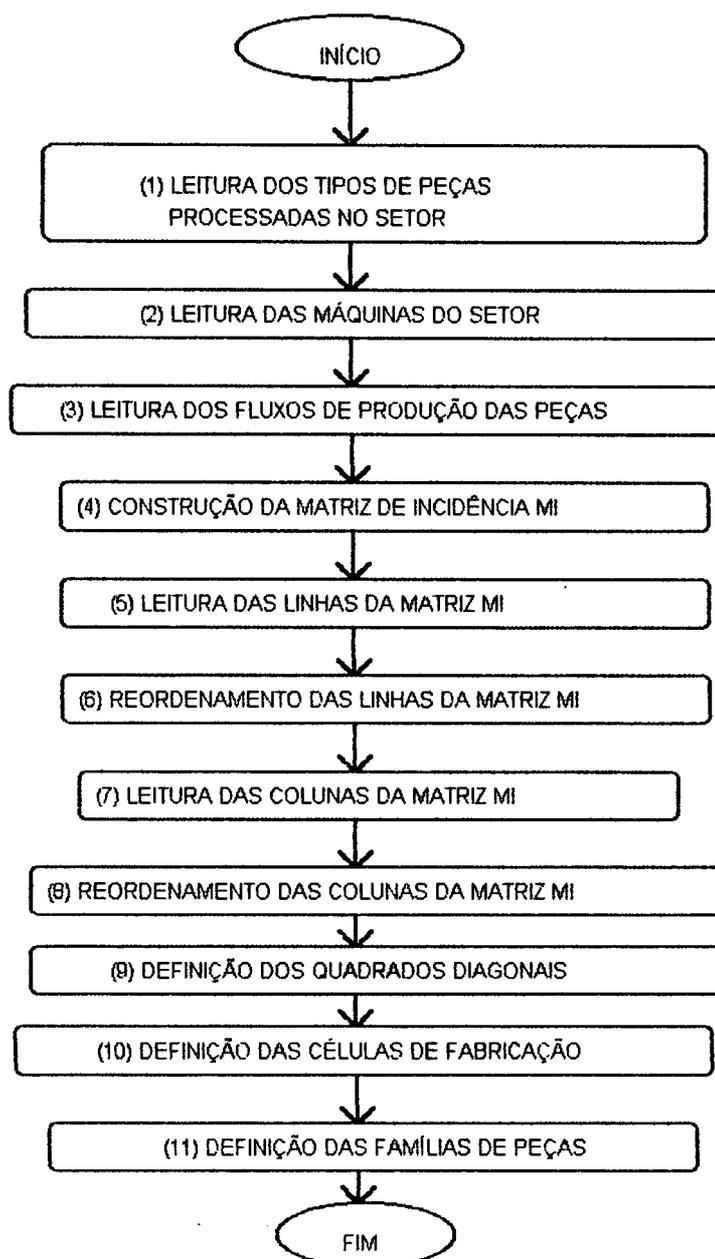


Fig. 14: Fluxograma do Cálculo das Células pelo Método ROC.

Os passos que compõem o algoritmo ROC são descritos com mais detalhes a seguir.

**(1) LEITURA DOS TIPOS DE PEÇAS PROCESSADAS NO SETOR -**

Este é o início do processo de entrada de dados do programa. O objetivo desta etapa é obter informação sobre os tipos de peças a serem processadas e não somente sobre o número total de peças fabricadas;

**(2) LEITURA DAS MÁQUINAS DO SETOR -** Continuação da entrada de dados por parte do usuário, onde se contabiliza o número total de máquinas do setor;

**(3) LEITURA DO FLUXO DE PRODUÇÃO DAS PEÇAS -** Nesta etapa, o usuário fornece ao programa os fluxos de produção de cada uma das peças processadas no setor, em termos das máquinas onde cada item sofre alguma operação;

**(4) CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE INCIDÊNCIA MI -** A partir dos dados obtidos, inicia-se o processamento das informações com a construção da matriz MI. Esta matriz será de ordem  $m \times p$ , sendo  $m$  o número de máquinas do setor e  $p$  o número de tipos de peças processadas. Os elementos  $a_{ij}$  da matriz poderão receber dois valores:

$a_{ij} = 1$ , se a peça  $j$  for processada na máquina  $i$ ; ou

$a_{ij} = 0$ , se isto não ocorrer.

Deve-se observar que a cada linha e coluna da matriz estará associado um número, representando as máquinas ou peças correspondentes:

**(5) LEITURA DAS LINHAS DA MATRIZ MI** - A partir da construção da Matriz de Incidência MI, pode-se considerar cada linha da matriz como um número binário, em virtude de todos os seus elementos assumirem valores 1 ou 0. As linhas da matriz são então lidas como palavras binárias, armazenando-se na memória os valores decimais correspondentes e os números das máquinas a elas associadas:

**(6) REORDENAMENTO DAS LINHAS DA MATRIZ MI** - De posse dos valores decimais das palavras binárias, efetua-se o reordenamento das linhas da matriz em ordem decrescente, alterando-se da mesma forma as posições dos números que simbolizam cada uma das máquinas:

**(7) LEITURA DAS COLUNAS DA MATRIZ MI** - Repete-se o mesmo procedimento realizado na etapa (5), considerando-se as colunas ao invés das linhas:

**(8) REORDENAMENTO DAS COLUNAS DA MATRIZ MI** - Idem como na etapa (6), utilizando-se os valores associados às colunas:

**(9) DEFINIÇÃO DOS QUADRADOS DIAGONAIS** - Ao final da etapa (8), as colunas e linhas da Matriz de Incidência MI foram realocadas, assim como os índices a elas associados.

A partir deste momento define-se quais os agrupamentos de elementos  $a_{ij}$  serão considerados "quadrados diagonais". Este é o momento crucial do método ROC, visto que a eficiência e eficácia da solução dependem diretamente da definição dos quadrados diagonais;

O processamento desta etapa inicia-se com a leitura do elemento  $a_{11}$  da Matriz de Incidência.

Se  $a_{11} = 1$ , a leitura continua ao longo dos elementos da primeira linha, até que se encontre um elemento  $a_{ij} = 0$  ou que a leitura se estenda até o último elemento da linha, o que ocorrer primeiro. A partir daí, reinicia-se o procedimento da mesma forma, para a próxima linha.

Se  $a_{11} = 0$ , deve-se passar imediatamente à leitura do elemento  $a_{21}$ . A partir deste ponto, efetua-se a leitura da linha até que surja um elemento  $a_{ij} = 0$ , como no procedimento anterior, continuando-se o processo.

À medida em que se processa a leitura dos elementos  $a_{ij}$  da matriz MI, deve-se calcular o Índice de Ocupação (IO), de acordo com a seguinte expressão:

$$IO = \frac{\sum a_{ij} \text{ (para } a_{ij} = 1)}{\sum a_{ij}} \quad (13)$$

O Índice de Ocupação IO expressa a quantidade de elementos  $a_{ij} = 1$  numa região da matriz que se localiza sobre a diagonal principal da matriz. Esta região é chamada de quadrado diagonal.

O procedimento para delimitação dos quadrados diagonais ocorre da seguinte forma: a partir do elemento  $a_{11}$ , realiza-se uma leitura dos elementos da matriz. À medida que os elementos vão sendo lidos, o Índice de Ocupação vai sendo calculado e recebe diversos valores.

Se  $a_{11} = 0$ , tem-se um valor inicial para  $IO = 0$ . A partir da leitura do primeiro elemento  $a_{ij} = 1$ , o índice  $IO$  aumentará de valor. Enquanto este índice continuar crescendo ou se mantendo constante, isto significa que a região considerada é um quadrado diagonal, devendo-se então continuar a varredura horizontal e vertical da matriz  $MI$ . Quando  $IO$  começar a decrescer, é sinal de que se aproxima o término do quadrado diagonal. Quando  $IO$  passar para um valor abaixo de um **Índice de Ocupação Mínimo**, definido pelo projetista, deve-se interromper a leitura, pois chegou-se ao fim do quadrado diagonal. A leitura dos elementos da matriz deve reiniciar no elemento  $a_{i+1, j+1}$ , repetindo-se o procedimento.

Se  $a_{11} = 1$ , o índice  $IO$  terá o valor 1, devendo-se efetuar a leitura das linhas e colunas da matriz  $MI$  até que o índice  $IO$  se torne menor que o Índice de Ocupação Mínimo, como no caso anterior.

Os quadrados diagonais, na maioria dos casos, definem uma grande concentração de elementos  $a_{ij} = 1$ , ou seja, representam um conjunto de operações de manufatura realizadas por certas máquinas sobre um determinado grupo de peças. Um exemplo de

matriz com quadrados diagonais pode ser visualizado na figura 15, onde se realça o caso da matriz apresentada na figura 9:

$$MI = \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} & 1 & 3 & 2 & 4 & 5 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 4 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{array} \end{array}$$

Fig. 15: Definição dos quadrados diagonais de uma matriz MI.

**(10) DEFINIÇÃO DAS CÉLULAS DE FABRICAÇÃO** - Após a construção dos quadrados diagonais da matriz MI, deve-se então observar os índices associados aos grupos de linhas contidas em cada quadrado. Estes índices representam as máquinas que irão compor as células de fabricação. No caso da figura 14, observa-se que as máquinas 1 e 3 pertencem a uma mesma célula e as máquinas 2 e 4 pertencem a outra;

**(11) DEFINIÇÃO DAS FAMÍLIAS DE PEÇAS** - Repete-se o mesmo procedimento da etapa (10), considerando-se as colunas ao invés das linhas e as peças ao invés das máquinas.

Após a definição das células de fabricação e das famílias de peças, armazena-se na memória a composição destas células e famílias, em termos do posicionamento final da Matriz de Incidência MI. No módulo de cálculo da eficiência e eficácia do agrupamento, estas informações serão reutilizadas.

### 5.3.1.2 - Cálculo das Células pelo Método do Algoritmo Linear para o Agrupamento de Células

O fluxograma do Algoritmo Linear é exibido na figura 16.

#### 2.1.2 - MÉTODO DO ALGORITMO LINEAR

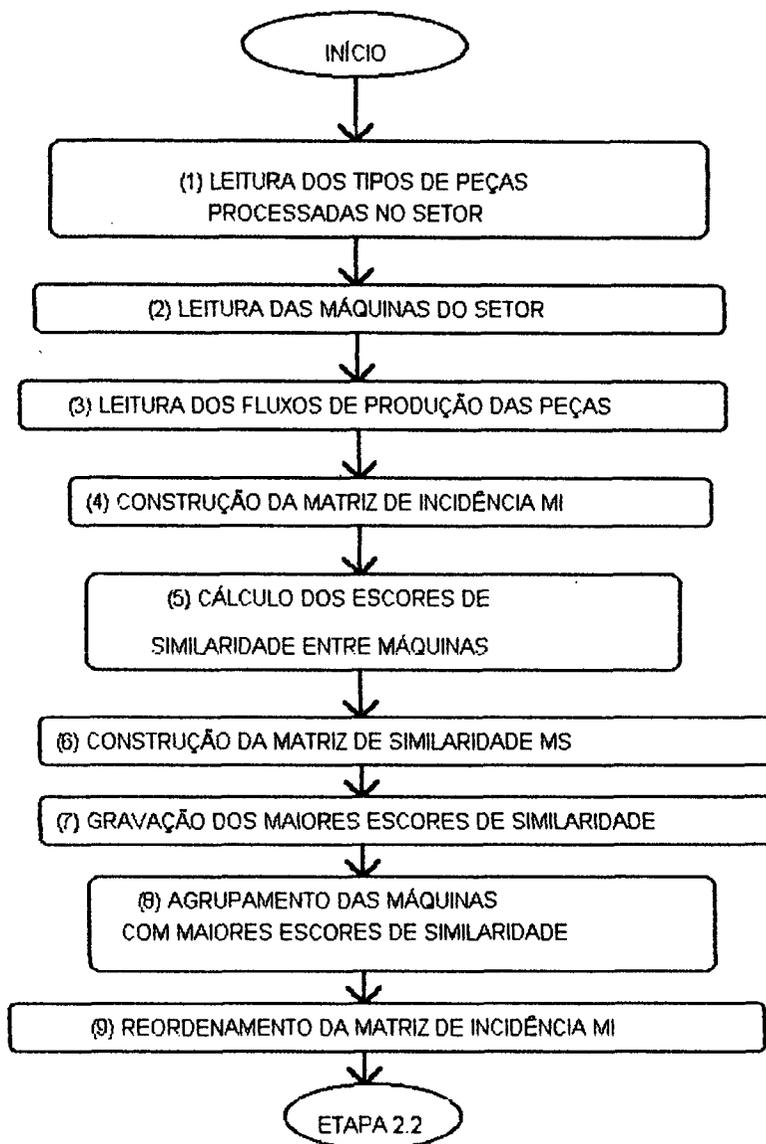


Fig. 16: Fluxograma do Método do Algoritmo Linear.

As quatro primeiras etapas deste módulo são exatamente as mesmas do Método ROC, portanto já foram comentadas anteriormente. Assim, apresentar-se-á, a seguir, as etapas (5) a (9).

#### (5) CÁLCULO DOS ESCORES DE SIMILARIDADE ENTRE MÁQUINAS -

Após a construção da Matriz de Incidência  $M_i$ , deve-se calcular os escores de similaridade  $c_{uv}$  entre as máquinas do setor. Isto se dá pela verificação, para cada par de máquinas  $u$  e  $v$ , da coincidência ou não de processamento sobre uma determinada peça  $j$ , qualquer. O escore de similaridade entre duas máquinas, dado pelas expressões (6) e (7) suscita a suposição de três situações que podem estar ocorrendo.

Se ambas as máquinas estão processando a peça  $j$ , isto significa que a similaridade entre elas em relação a esta peça é dada por  $\Gamma(a_{uj}, a_{vj}) = p - 1$ .

Se nenhuma das máquinas está processando a peça  $j$ , isto resulta em  $\Gamma(a_{uj}, a_{vj}) = 1$ .

Se uma das máquinas processa a peça  $j$ , mas a outra não, tem-se que  $\Gamma(a_{uj}, a_{vj}) = 0$ .

Somando-se o valor de  $\Gamma(a_{uj}, a_{vj})$  para todas as  $p$  peças, obtem-se o valor do escore de similaridade  $c_{uv}$  entre as máquinas  $u$  e  $v$ :

(6) CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE SIMILARIDADE MS - A Matriz de Similaridade MS reúne todos os escores de similaridade entre

máquinas calculados na etapa (5). Esta matriz tem ordem  $m \times m$ , sendo  $m$  o número de máquinas no setor;

(7) **GRAVAÇÃO DOS MAIORES ESCORES DE SIMILARIDADE** - Após a construção da Matriz **MS**, inicia-se a fase de busca de soluções para os agrupamentos. As máquinas com maiores inter-relações serão aquelas cujos escores de similaridade forem mais elevados;

(8) **AGRUPAMENTO DAS MÁQUINAS COM MAIORES ESCORES DE SIMILARIDADE** - A partir da identificação das máquinas com maiores escores de similaridade, deve-se agrupá-las em células, seguindo-se os cinco passos apresentados na seção 4.2.2;

(9) **REORDENAMENTO DA MATRIZ DE INCIDÊNCIA MI** - De posse das informações sobre as células de máquinas formadas na etapa (8), deve-se então reordenar a matriz **MI** de acordo com os agrupamentos realizados, para que se possa armazenar estes dados na memória, tal como foi feito no método **ROC**.

Ao término das etapas do Algoritmo Linear, prossegue então o programa, com o cálculo da eficiência e eficácia dos arranjo celulares obtidos.

### 5.3.2 - Cálculo da Eficiência e Eficácia dos arranjos obtidos

Ao concluir-se o cálculo das células de fabricação pelos métodos **ROC** e **Algoritmo Linear**, deve-se realizar a medição da

eficiência e eficácia do agrupamento celular, dadas pelas equações (8) e (9), respectivamente.

Observações referentes à conveniência de se ter duas medidas para aferir a qualidade dos agrupamentos gerados na matriz MI foram feitas na seção 4.3, quando da apresentação das duas expressões para o cálculo de  $\eta$  e  $\Gamma$ . Cabe agora ressaltar que valores muito baixos para a eficiência e a eficácia indicam um grande número de transportes entre as células, além de freqüentes esperas e atrasos na produção. Se tal situação ocorrer, os esforços realizados para a coleta e processamento de dados no programa poderão ter sido em vão, pois o layout gerado será bastante deficiente.

### 5.3.3 - Verificação dos valores de Eficiência e Eficácia

Após o cálculo da Eficiência e Eficácia, deve-se então decidir pela implementação ou não do agrupamento celular obtido. Esta decisão é tomada com base em um limite mínimo estabelecido para os valores calculados de  $\eta$  e  $\Gamma$ .

Na bibliografia consultada, não existe menção sobre qual o valor mínimo admissível para a Eficiência e a Eficácia. O índice de 70% foi adotado por se tratar de um valor aproximado, comumente encontrado para  $\eta$  e  $\Gamma$ , nas aplicações práticas descritas na literatura, como por exemplo em Kumar e Chandrasekharan (1990).

### 5.3.4 - Projeto do Layout pelo Método dos Elos

A última parte do módulo de projeto contém o Método dos Elos, sendo acionada apenas no caso em que os resultados obtidos para a Eficiência e Eficácia do arranjo celular tenham sido insatisfatórios. Este valor mínimo é estipulado em função do número de máquinas e de peças consideradas no problema, de acordo com a avaliação do projetista. Um valor usual para este limite é 70%. O Método dos Elos encontra-se representado na forma de fluxograma na figura 17.

#### 2.4 - MÉTODO DOS ELOS

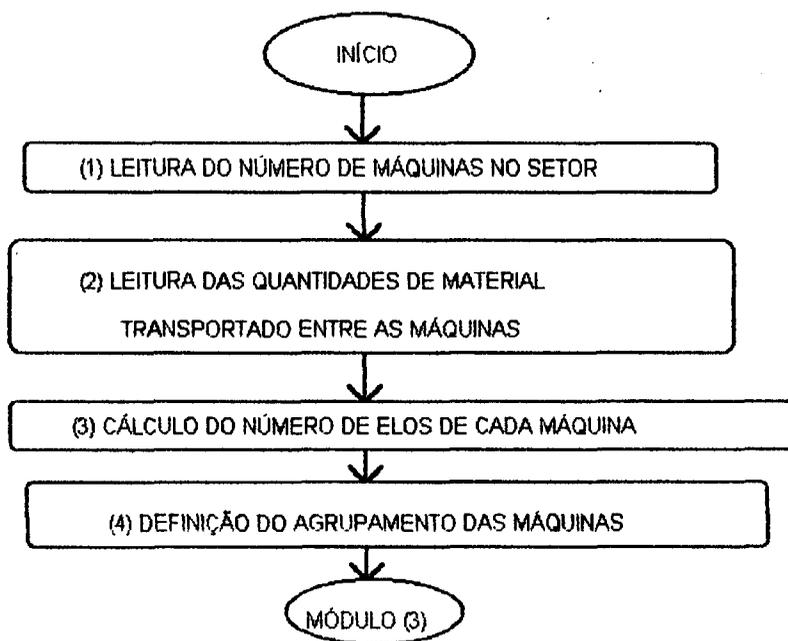


Fig. 17: Fluxograma do Método dos Elos.

As etapas que compõem o algoritmo do Método dos Elos serão descritas a seguir, com exceção da etapa (1), semelhante às etapas iniciais de outros módulos do programa.

**(2) LEITURA DAS QUANTIDADES DE MATERIAL TRANSPORTADO ENTRE AS MÁQUINAS** - A principal característica do Método dos Elos é o cálculo da quantidade total de material transportado no setor sob consideração. Nesta etapa, faz-se o exame de toda a movimentação de material realizada, em termos de unidades transportadas ou de massa de material transferido de um equipamento para outro. Além disso, armazena-se na memória todos os pontos de origem e destino dos materiais (máquinas de onde saem e onde chegam as peças processadas).

**(3) CÁLCULO DO NÚMERO DE ELOS DE CADA MÁQUINA** - Ao final da etapa (2), encontram-se armazenados na memória todos os transportes de peças realizados no setor e as máquinas por onde este material trafegou. Estes transportes realizados são os elos que ligam as máquinas entre si. Deve-se então somar os elos que cada máquina possui com as demais, com a finalidade de estabelecer um "ranking" de todas as máquinas, em termos das inter-relações com as demais. Ao final desta etapa, deve-se armazenar na memória a classificação dos equipamentos de acordo com o seu número de elos.

**(4) DEFINIÇÃO DO AGRUPAMENTO DAS MÁQUINAS** - Tendo-se o "ranking" das máquinas em termos da quantidade de elos, deve-se definir como será o seu reagrupamento. A premissa a seguir é

localizar no centro do setor as máquinas cujos números de elos forem maiores, alocando em volta destas os demais equipamentos, em ordem decrescente do número de elos, chegando-se até a periferia do setor, onde encontrar-se-ão as máquinas com os menores números de elos. Esta configuração reduz radicalmente os transportes e aumenta a proximidade das máquinas com grandes inter-relacionamentos.

#### **5.4 - MÓDULO DE ALOCAÇÃO DAS MÁQUINAS NO NOVO LAYOUT**

O módulo de alocação das máquinas no novo layout é a terceira parte do modelo. As etapas que o compõem estão apresentadas na figura 18.

Este módulo é voltado para o reposicionamento das máquinas de maneira que se obtenha reduções nas distâncias de transporte e aproximação das máquinas com grandes inter-relações.

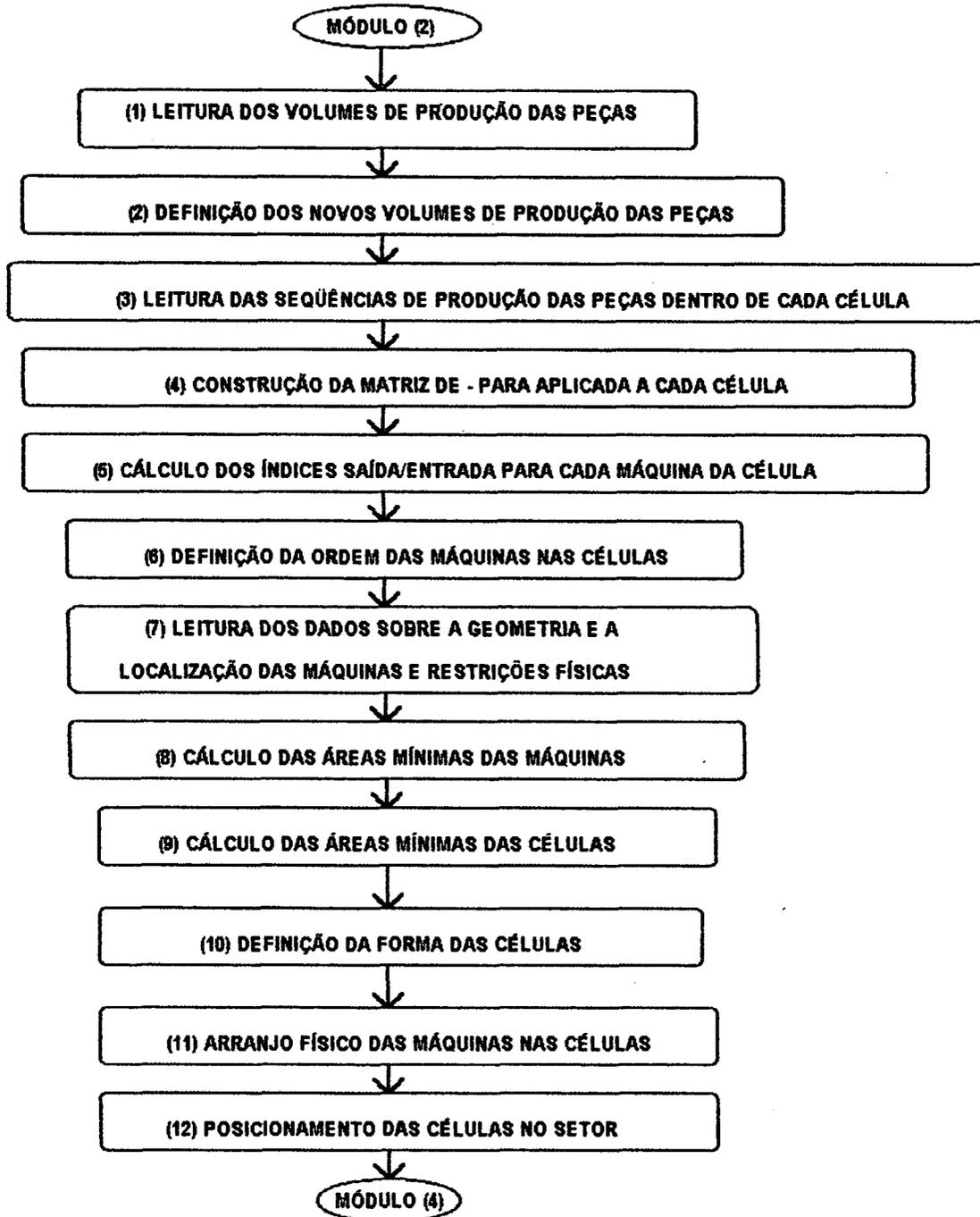
**(3) ALOCAÇÃO DAS MÁQUINAS NO NOVO LAYOUT**

Fig. 18: Fluxograma do Módulo de Alocação das Máquinas do novo layout.

Os módulos apresentados no fluxograma da figura 18 serão discutidos a seguir. Antes desta discussão, porém, deve-se

ressaltar que o fluxograma apresentado é voltado para o projeto de layout pelos métodos da Tecnologia de Grupo. Quando o arranjo a ser construído for do tipo convencional, calculado a partir do Método dos Elos, algumas etapas do algoritmo não serão aplicadas, visto que se dedicam a cálculos envolvendo as células de fabricação.

(1) **LEITURA DOS VOLUMES DE PRODUÇÃO DAS PEÇAS** - Esta é a etapa de entrada de dados sobre as quantidades de peças produzidas por cada máquina. Para facilitar o processo de leitura destas informações, constrói-se a chamada Matriz de Produção, onde as linhas representam as máquinas da célula e as colunas, as peças a serem fabricadas. Os elementos  $a_{ij}$  da matriz representam as quantidades produzidas de cada peça  $j$  nas máquinas  $i$ . A figura 19 apresenta um exemplo de uma Matriz de Produção.

		PEÇAS		
		1	2	3
M				
Á	1	350	200	400
Q				
U	2	300	500	200
I				
N				
A	3	500	100	150
S				

Fig. 19: Exemplo de Matriz de Produção.

(2) **DEFINIÇÃO DOS NOVOS VOLUMES DE PRODUÇÃO DAS PEÇAS** - A partir dos dados coletados na Matriz de Produção, deve-se adequar as quantidades de peças a serem fabricadas, de maneira

que se evite a formação de estoques intermediários entre as máquinas da célula.

Ao inserir-se o projeto do layout industrial no contexto Just in Time, uma das diretrizes a seguir é o balanceamento da produção em função dos gargalos. Este balanceamento minimiza a formação de estoques de produtos em processamento, visto que o volume de produção de cada célula será limitado ao volume de produção da máquina que estiver produzindo menos itens.

No caso do exemplo da figura 19, vê-se que os elementos em negrito expressam as menores quantidades produzidas de cada uma das peças  $p$ . Sendo assim, os novos volumes de produção das peças 1, 2 e 3 serão, respectivamente 300, 100 e 150.

**(3) LEITURA DAS SEQÜÊNCIAS DE FABRICAÇÃO DAS PEÇAS DENTRO DE CADA CÉLULA** - Após a definição dos volumes de peças a fabricar, deve-se ter conhecimento de suas seqüências de produção, expressas em termos da ordem das máquinas onde são processadas. Nesta etapa do algoritmo, estas seqüências de fabricação são lidas e armazenadas na memória.

**(4) CONSTRUÇÃO DA MATRIZ "DE - PARA", APLICADA A CADA CÉLULA** - De posse das informações sobre as seqüências de produção das peças, deve-se então calcular a sua importância em função das quantidades produzidas em cada fluxo. Este cálculo é realizado construindo-se a Matriz "DE - PARA", uma matriz quadrada de ordem  $m$ , sendo  $m$  o número de máquinas na célula. As

máquinas da célula são dispostas nas linhas e colunas da matriz e os elementos  $a_{ij}$  representam o volume de peças transportadas entre a máquina  $i$  e a máquina  $j$ , definido na etapa (2) do algoritmo (volumes de produção dados pelas máquinas-gargalo). Deve-se salientar que quando determinada máquina  $k$  não estiver ligada a uma máquina  $l$ , em termos de fluxo de produção, o elemento  $a_{kl}$  da matriz será nulo. O volume de transporte entre máquinas pode ser expresso em termos de número de peças, massa ou volume.

**(5) CÁLCULO DOS ÍNDICES ENTRADA/SAÍDA PARA CADA MÁQUINA DAS CÉLULAS** - Após a construção da Matriz "DE - PARA", deve-se identificar quais máquinas terão maior saída de produtos e quais máquinas receberão maior aporte de peças, visto que as velocidades de cada máquina são diferentes. Para se obter este dado, deve-se calcular o Índice Entrada/Saída para cada máquina. Este índice é dado pela diferença entre o somatório das peças que chegam na máquina em um determinado período (dado pela soma dos elementos da linha da Matriz "DE - PARA", para a máquina em questão) e o somatório das peças que saem da máquina no mesmo período (dado pela soma dos elementos da coluna da Matriz "DE - PARA", considerando-se a mesma máquina).

**(6) DEFINIÇÃO DA ORDEM DAS MÁQUINAS NAS CÉLULAS** - De posse dos Índices Entrada/Saída de cada máquina, calculados na etapa (5), pode-se então ordenar os equipamentos na célula de acordo com o valor destes índices. Índices positivos demonstram

que a máquina tem grande saída de peças. Índices negativos demonstram que a máquina tem grande aporte de peças. Sendo assim, a ordem das máquinas na célula será realizada do maior valor do índice Entrada/Saída para o menor valor.

**(7) LEITURA DOS DADOS SOBRE A GEOMETRIA E A LOCALIZAÇÃO DAS MÁQUINAS E RESTRIÇÕES FÍSICAS** - Neste ponto do algoritmo, inicia-se a leitura de dados realmente concernentes a geometria do arranjo físico. Na ausência do módulo gráfico para entrada de dados, efetua-se o levantamento destas informações sob a forma de perguntas ao usuário do programa.

**(8) CÁLCULO DAS ÁREAS MÍNIMAS DAS MÁQUINAS** - De posse dos dados sobre a geometria das máquinas, pode-se então calcular suas Áreas Mínimas, que expressam todo o espaço necessário para sua localização, visto que englobam áreas destinadas à operação e manutenção das máquinas, além de áreas para circulação. As Áreas Mínimas são calculadas de acordo com a expressão (12), apresentada no capítulo 4.

**(9) CÁLCULO DAS ÁREAS MÍNIMAS DAS CÉLULAS** - A partir do cálculo das Áreas Mínimas das máquinas, deve-se somar estes valores para todas as células, inclusive as unitárias. Com isso, pode-se constatar a necessidade ou não de expansão na área do departamento, caso a soma das Áreas Mínimas seja superior ao valor da área do setor.

**(10) DEFINIÇÃO DA FORMA DAS CÉLULAS** - As formas que uma célula pode possuir são inúmeras, sendo esta uma variável que aumenta consideravelmente o número de alternativas de arranjo físico das máquinas. Há que se limitar, de alguma maneira, o número de configurações possíveis para as células.

No sistema Just in Time, segundo Schonberger (1987), procura-se arranjar as máquinas nas células numa configuração próxima da letra "U". Sendo assim, optou-se por definir três formas aproximadas a esta para os arranjos celulares:

- Arranjo em linha: Indicado quando o número de máquinas na célula for 1 ou 2;

- Arranjo em "L": Indicado para os casos em que o número de máquinas a arranjar for de 3 a 5. Caso alguma das máquinas tiver uma dimensão muito maior do que as outras (superior a 3 vezes), deve-se optar pelo arranjo em "U", pois este causa menor ocupação de espaço no setor; e

- Arranjo em "U": Indicado quando o número de máquinas na célula for maior do que 5.

**(11) ARRANJO FÍSICO DAS MÁQUINAS NAS CÉLULAS** - Tendo-se calculado as Áreas Mínimas, a ordem das máquinas nas células e a configuração do layout celular, pode-se então posicionar os equipamentos dentro das células. Isto se dá pela alocação da primeira máquina do arranjo na origem do sistema de coordenadas utilizado e o posicionamento da máquina seguinte em posição

adjacente à primeira, e assim por diante, respeitando-se a orientação exigida (exemplo: rotação de 90° quando se realizar o arranjo em "L").

**(12) POSICIONAMENTO DAS CÉLULAS NO SETOR** - Após o arranjo físico das máquinas no interior das células, deve-se posicioná-las no layout do setor, para que se possa finalizar este módulo.

O posicionamento das células se dá através do Método dos Elos, alocando-se a célula com maior número de inter-relações ao centro do setor e em sua volta as demais células, conforme o seu número de elos. Caso as células não tenham relações entre si, o critério para posicionamento é o volume de produção de cada célula, cujo valor determina a sua posição mais próxima da região de maior transporte ou não.

Um terceiro caso que pode ocorrer é a presença de alguma restrição que exija a alocação das células nas suas proximidades, tais como a obrigatoriedade de se posicionar as células nos arredores da entrada ou saída do setor ou próximas a determinados pontos fixos.

No capítulo 6, o modelo computacional será aplicado a um caso real, ilustrando melhor o funcionamento e a lógica de todos os módulos do programa, descritos anteriormente.

## CAPÍTULO 6

### APLICAÇÃO PRÁTICA DO MODELO

#### 6.1 - A EMPRESA-PILOTO

O modelo computacional pôde ser avaliado numa aplicação prática, em uma empresa de médio porte do ramo metal-mecânico do estado de Santa Catarina. Nesta seção, será dada uma breve descrição desta "empresa-piloto" e das condições que propiciaram a aplicação prática do modelo.

A empresa-piloto é uma tradicional fábrica do ramo metal-mecânico, com mais de 30 anos no mercado. Seu quadro de funcionários é superior a 300 pessoas. A empresa fabrica uma gama de aproximadamente 30 produtos e grande parte de sua produção destina-se ao mercado externo. O número de setores da fábrica é de cerca de dez, espalhados por uma área de mais de 6.000 m<sup>2</sup>.

A principal dificuldade enfrentada pela organização residia no atendimento à demanda existente no mercado, a qual, nos

últimos meses, sofreu sucessivos aumentos, forçando a empresa a expandir a produção. A solução encontrada pela empresa foi aumentar o número de máquinas, para que pudesse alcançar a expansão desejada nas vendas. No entanto, para introduzir mais equipamentos na fábrica, fazia-se necessário aumentar a área do setor produtivo, pois este já se encontrava com uma ocupação elevada, especialmente no setor de usinagem.

Um fator de grande influência negativa sobre o layout da fábrica é o número excessivo de áreas voltadas única e exclusivamente para estocagem de produtos em processamento e de componentes acabados. Nota-se que o ambiente é bastante propício para a disseminação de técnicas como a Tecnologia de Grupo, Just in Time e a Integração da Manufatura, pois os problemas existentes na empresa revelam uma série de deficiências que poderiam ser superadas com a aplicação destas ferramentas.

## 6.2 - O SETOR - GARGALO

Dentre os setores voltados para a produção, escolheu-se o setor de usinagem para a aplicação do modelo computacional. As razões para a sua escolha foram as seguintes:

- Este setor apresentava menor capacidade de produção do que o exigido pela demanda (cerca de 30%), caracterizando um gargalo, gerando um obstáculo à meta da empresa em alcançar uma expansão nas vendas;

- O setor encontrava-se com um elevado déficit na área útil, em virtude de alto grau de ocupação dos espaços:

- A distribuição das máquinas causava um grande número de transportes, realizados a grandes distâncias;

- Havia uma proximidade indesejável entre máquinas com pouca ou nenhuma inter-relação, enquanto outras com grande afinidade localizavam-se a grandes distâncias; e

- Existia um setor adjacente com área subutilizada, da ordem de 70 m<sup>2</sup>, da qual se poderia dispor, necessitando-se apenas da remoção de uma parede e remanejamento das instalações elétricas e pneumáticas.

O layout existente no setor de usinagem pode ser visualizado na figura 20.

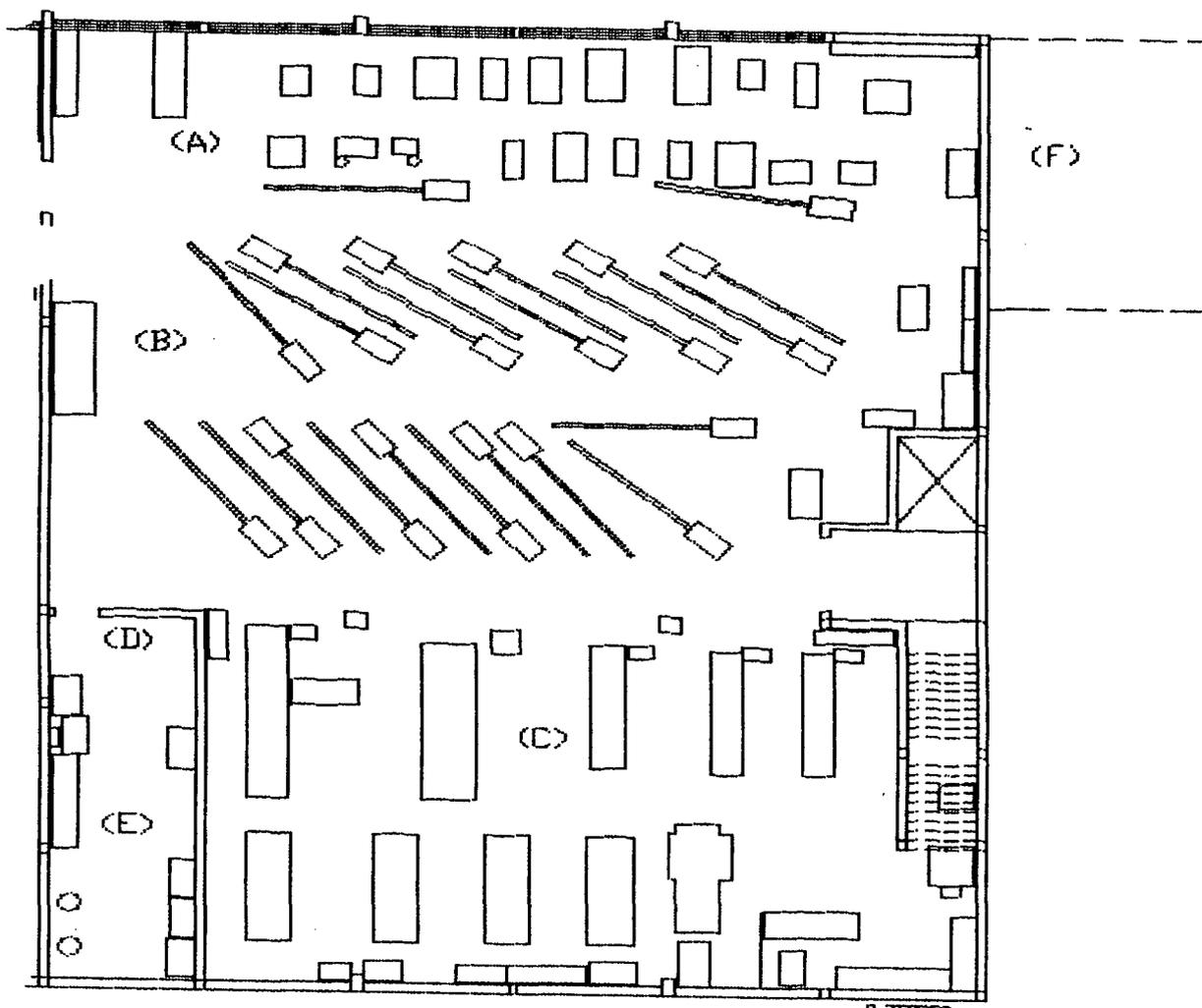


Fig. 20: Layout existente no setor de usinagem.

A partir da observação da figura 20, notam-se certas características no arranjo físico do setor USINAGEM, que serão comentadas a seguir.

As máquinas encontram-se divididas em três subgrupos bem definidos, a saber:

- Máquinas Especiais. Trata-se de equipamentos de pequeno porte, agrupados na parte superior da planta (A):

- Tornos. São as máquinas em maior quantidade e encontram-se distribuídos em posição diagonal, no centro do setor, na região (B):

- Injetoras. São os equipamentos representados pelos retângulos localizados na parte inferior da planta (C):

Além destes três subconjuntos bem definidos de máquinas, nota-se também a presença de duas pequenas salas, localizadas à esquerda da planta (D e E), onde se realizam os banhos e centrifugação nas peças recém-usinadas nas máquinas especiais (A). O setor adjacente à usinagem, cuja área encontrava-se em grande parte ociosa, está localizado ao lado do canto superior direito da planta (F).

### 6.3 - APLICAÇÃO DO MODELO

Para a aplicação do modelo, selecionou-se o subconjunto de Máquinas Especiais. Esta escolha foi realizada em virtude de uma série de fatores, tais como:

- Trata-se de um conjunto de máquinas totalmente independente das demais, visto que a matéria-prima para o seu processamento encontra-se em um almoxarifado externo ao setor e as peças após processadas se dirigem a outros departamentos, sem passar por nenhum torno ou injetora;

- O número de máquinas especiais é bastante expressivo (21 no total);

- Entre os três subconjuntos de máquinas, o grupo de máquinas especiais é o único em que realmente há inter-relação entre os equipamentos, pois no caso dos tornos e injetoras, as peças entram no setor, são processadas em apenas uma máquina e são então levadas a um outro departamento; e

- Os tipos de peças processadas pelas máquinas especiais é bastante significativo (em número de 23).

A aplicação do modelo computacional iniciou-se pela entrada de dados sobre o número de máquinas especiais do setor e os tipos de peças processadas por elas, iguais a 21 e 23, respectivamente. Em seguida, foram fornecidos os fluxos de produção das peças ao longo das máquinas, na forma da **Matriz de Incidência MI**, apresentada na figura 21.

PEÇAS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			
1	1	1	1																							
2	1	1	1																							
3				1																						
4					1																					
M	5					1																				
A	6						1	1	1	1	1	1														
7												1	1	1	1											
Q	8																1									
U	9																	1								
I	10																			1						
11																	1									
N	12																				1	1				
A	13																	1								
S	14																		1							
15																						1				
16																								1		
17																									1	
18																										1
19																				1						
20																					1					
21																									1	
22	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0		

Fig. 21: Matriz de Incidência das Máquinas Especiais.

Deve-se observar, na figura 21, que existem 22 linhas na Matriz de Incidência, em virtude de se ter considerado a sala de lavagem como se fosse uma "máquina" a ser realocada. Esta 22ª linha, por ter um grande número de elementos iguais a 1, e em virtude do tamanho da matriz, tem também indicados os elementos

iguais a 0, para melhor visualização de quais peças são lavadas. A razão pela qual a lavação foi considerada como um elemento a ser realocado está baseada na possibilidade de dividi-la em duas partes: uma ligada às peças processadas nos tornos, que permanece onde está, e outra, ligada às máquinas especiais, que poderá ser deslocada para a nova área disponível, se for o caso.

De posse dos dados fornecidos na Matriz de Incidência, aplicou-se então o módulo de cálculo das células de fabricação pelos métodos da Tecnologia de Grupo (ROC e Algoritmo Linear), procedendo-se o rearranjo da matriz. Sua nova configuração está apresentada na figura 22, onde também estão apresentados os quadrados diagonais, formados com o agrupamento das máquinas em células e das peças em famílias.

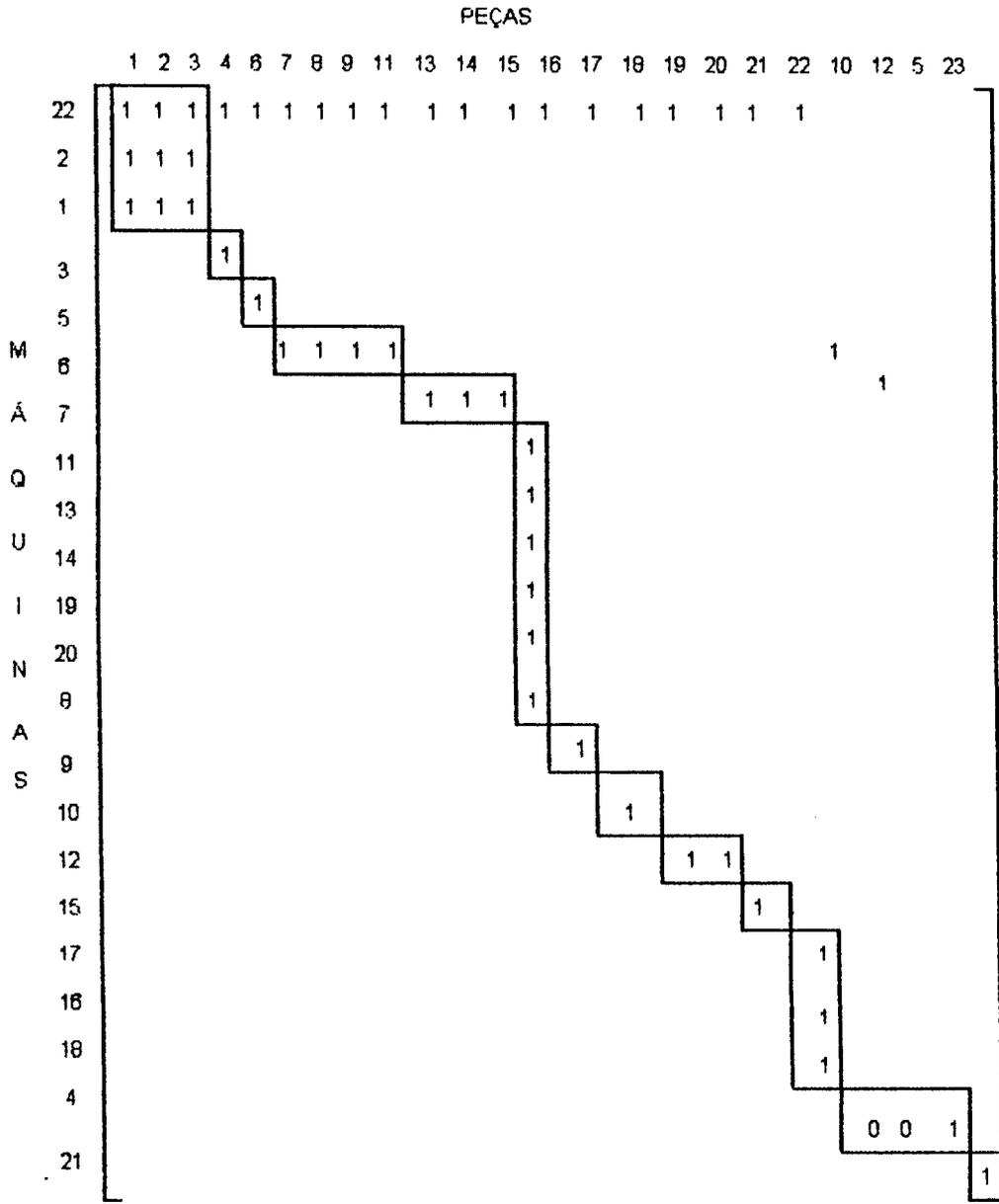


Fig. 22: Rearranjo da Matriz de Incidência das Máquinas Especiais.

O rearranjo obtido na matriz MI resultou em valores aproximadamente iguais a 96% para a eficiência ( $\eta$ ) e 70% para a eficácia ( $\Gamma$ ), não transgredindo, portanto, o limite mínimo de 70%, mencionado no item 5.3.3.

O resultado obtido com o agrupamento das máquinas em células e das peças em famílias encontra-se no quadro 6.

Quadro 6: Agrupamento das Máquinas Especiais em células e das peças em famílias.

CÉLULA	MÁQUINAS	FAMÍLIA	PEÇAS
I	1, 2	I	1, 2, 3
II	3	II	4
III	4	III	5
IV	5	IV	6
V	6	V	7, 8, 9, 10, 11
VI	7	VI	12, 13, 14, 15
VII	8, 11, 13, 14, 19, 20	VII	16
VIII	9	VIII	17
IX	10	IX	18
X	12	X	19, 20
XI	15	XI	21
XII	16, 17, 18	XII	22
XIII	21	XIII	23
XIV	22*		

\* Lavação de peças

Após a definição de quais máquinas compõem as diversas células, passa-se ao módulo de alocação das máquinas no setor, etapa (3) da figura 10. Coletou-se, neste módulo, dados sobre a produção horária das peças em cada máquina (quadro 7), as seqüências de processamento das peças que passam por mais de uma máquina (quadro 8), as dimensões das máquinas e o número de lados

de cada máquina efetivamente utilizados para operação e manuseio de matéria-prima (quadro 9) e o fator  $k$ , referente ao tipo de fábrica (comentado na seção 4.5), cujo valor adotado foi 1,0.

Quadro 7: Produção horária das peças nas Máquinas Especiais.

MÁQUINA	PEÇA	PRODUÇÃO/h
1	1	2.000
	2	2.000
	3	2.222
2	1	2.156
	2	2.000
	3	1.538
3	4	3.462
4	5	970
5	6	889
6	7	300
	8	360
	9	405
	10	720
	11	800
7	12	531
	13	600
	14	750
	15	720
8	16	1.500
9	17	3.186
10	18	2.609
11	16	1.029
12	19	1.525
	20	1.525
13	16	965
14	16	872
15	21	1.084
16	22	1.125
17	22	963
18	22	1.629
19	16	1.200
20	16	1.667
21	23	1.286

Quadro 8: Seqüências de produção das peças.

PEÇAS	SEQÜÊNCIA DE MÁQUINAS
1	1 → 2
2	
3	
16	8 → 11 → 13 → 14 → 19 → 20
22	16 → 17 → 18

Quadro 9: Dimensões e número de lados efetivamente utilizados das Máquinas Especiais.

MÁQUINAS	DIMENSÕES (m <sup>2</sup> )	N
1	0,6 x 0,8	1
2	0,9 x 0,8	1
3	0,8 x 0,6	1
4	0,8 x 0,8	1
5	1,2 x 0,7	1
6	1,1 x 0,7	1
7	0,6 x 0,8	1
8	0,6 x 0,8	1
9	0,8 x 0,6	1
10	0,9 x 0,6	1
11	1,0 x 0,9	1
12	1,2 x 0,8	1
13	1,4 x 0,9	1
14	1,6 x 0,8	1
15	1,0 x 0,5	1
16	1,0 x 0,5	1
17	1,3 x 0,7	1
18	1,0 x 0,4	1
19	1,2 x 0,7	2
20	1,1 x 0,6	1
21	1,1 x 0,9	1

Com os dados levantados sobre as seqüências de produção e sobre as quantidades produzidas de peças em cada máquina, realizou-se o cálculo para determinar a ordem das máquinas nas células. Considerou-se que os volumes de peças produzidos em cada célula eram regulados pela máquina de menor produção horária, com

o objetivo de minimizar estoques intermediários. A ordem das máquinas nas células não-unitárias é a seguinte:

CÉLULA I: máquinas 1 e 2;

CÉLULA VII: máquinas 8, 11, 13, 14, 19 e 20;

CÉLULA XII: máquinas 16, 17 e 18.

Posteriormente, calculou-se as áreas mínimas das máquinas e das células, encontrando-se o valor total de 62.12 m<sup>2</sup>, portanto menor do que a área destinada para o novo layout (cerca de 70 m<sup>2</sup>), representada pela região (F), na figura 20.

Em relação à forma das células, o programa recomenda, para as células não-unitárias I, VII e XII, os formatos em linha, "U" e "L", respectivamente.

Finalmente, no tocante ao posicionamento das células no setor, relativamente à localização da entrada e saída de material, buscou-se como parâmetro reduzir as distâncias internas de movimentação de materiais. Assim, a ordem para o layout das células é a seguinte: I, II, VIII, X, IX, VI, V, XIII, XI, III, XII, IV e VII, considerando-se a célula I localizada na região próxima à entrada de material no setor e as demais células localizadas a seguir, estendendo-se até a saída.

Analisando-se o novo layout do setor, pode-se perceber uma série de modificações realizadas, entre as quais, destacam-se:

- Reutilização da área que antes pertencia a um setor adjacente, e que se encontrava ociosa, para a realocação das máquinas especiais;

- Divisão da área de lavagem de peças (D e E na figura 20), criando-se uma cabine exclusivamente para atender às máquinas especiais;

- Alocação da nova área de lavagem junto à nova posição das máquinas especiais, reduzindo-se sobremaneira o transporte de materiais;

- Reposicionamento das máquinas, levando-se em conta as diretrizes de projeto, configurando-as segundo os formatos em linha, "U" e "L";

- Expansão da área destinada aos tornos (região B da figura 20), possibilitando o aumento em seu número.

A nova configuração do layout proposto para as máquinas especiais encontra-se representada na figura 23. Deve-se ressaltar que a representação gráfica do novo posicionamento das máquinas foi realizado por meio do software Autocad, adaptando-se as máquinas às dimensões existentes. Isto se deu em função de não se ter desenvolvido o módulo (4), para saída gráfica do novo arranjo físico. As dimensões das máquinas na figura 23 estão em uma escala aproximada, não refletindo exatamente seus valores reais.

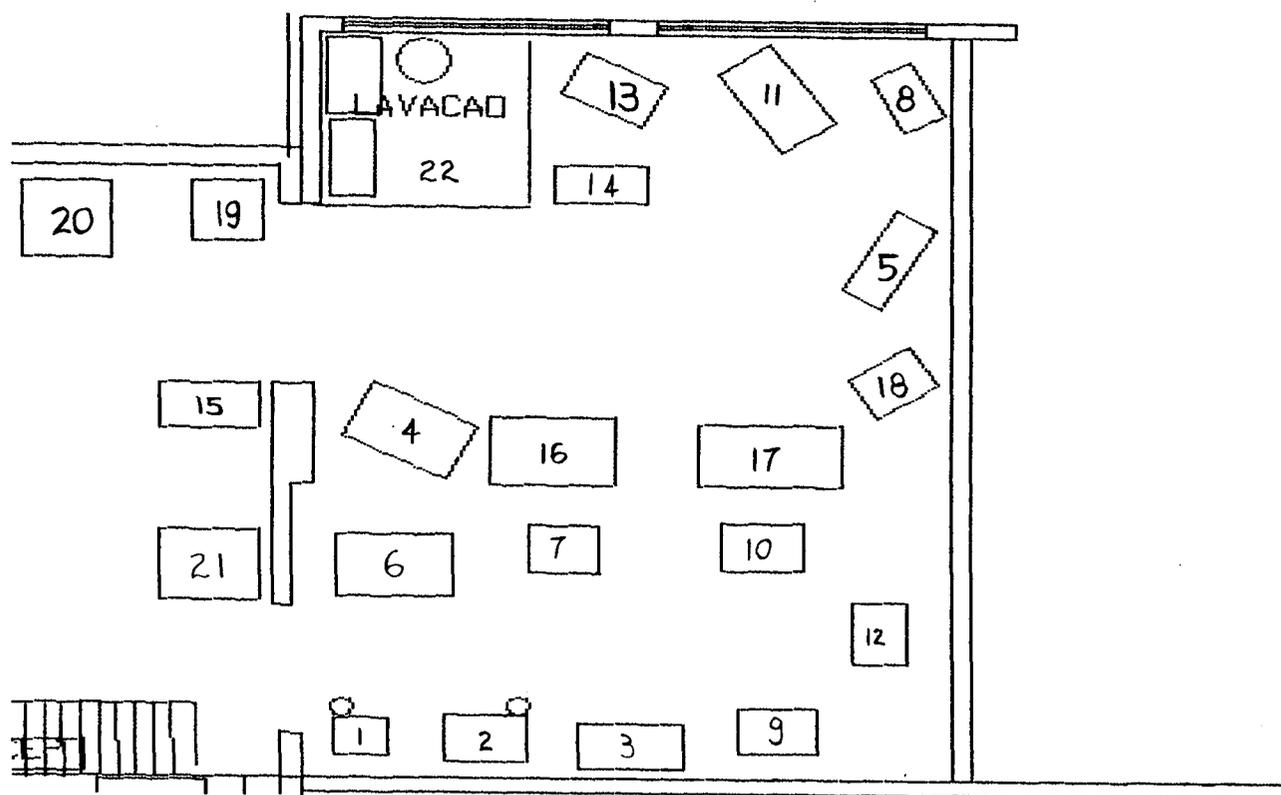


Fig. 23: Novo layout das Máquinas Especiais.

#### 6.4 - MELHORIAS ALCANÇADAS

O layout proposto com a utilização do modelo computacional foi apresentado à diretoria da empresa e atualmente encontra-se em pleno funcionamento.

Um fator de grande importância a ser ressaltado sobre este novo arranjo físico do setor de usinagem, refere-se à realocação

da cabine de lavação das peças, aproximando-a das máquinas especiais, com as quais esta possui grande inter-relação. Este novo arranjo contribuiu para reduzir consideravelmente as distâncias de movimentação de materiais chegando em torno de 25%. Além disso, outras vantagens foram obtidas com o rearranjo físico do departamento, destacando-se:

- Expansão da capacidade do setor em 20%, pela oportunidade de se aumentar o número de tornos. Este acréscimo no número de máquinas propiciou ao setor uma expansão na produção, levando-o a ter uma capacidade produtiva semelhante à dos demais setores, além de possibilitar um melhor atendimento da demanda que se encontrava reprimida;

- Melhores condições de trabalho para os operários do setor;

- Melhor aproveitamento das máquinas, em virtude do maior espaço obtido para operação e manutenção; e

- Evolução da empresa no sentido de disseminar conceitos como flexibilidade, redução de transportes, aproximação entre os postos de trabalho e redução nos custos pela diminuição de atividades que não agregam valor aos produtos.

## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

#### **7.1 - ANÁLISE DAS PESQUISAS REALIZADAS**

Ao concluir-se este trabalho, faz-se necessário realizar uma retrospectiva de toda a série de informações colhidas, nas mais diversas fontes, sobre projeto de layout industrial.

Inicialmente, deve-se ressaltar a razão de se ter localizado o layout industrial em um meio ambiente global, ou seja, relacionando-o aos sistemas de produção, caso do Just in Time e da Integração da Manufatura. A razão para isto é a convergência de certos aspectos, tais como a procura da eliminação de atividades não-agregadoras de valor, atividades redundantes e a simplificação das tarefas como diretriz na solução de problemas. Se estas características estiverem presentes também no arranjo físico da empresa, as vantagens serão a maior adição de valor aos produtos e a redução de custos de produção.

Após uma apresentação dos tipos de arranjo físico existentes, demonstrou-se o porquê da escolha do layout celular como objetivo de projeto: aproximação entre máquinas inter-relacionadas, redução nos custos de transporte, maior conscientização da qualidade por parte dos operários, flexibilidade na produção, etc. Deve-se ressaltar que tais características são o objetivo de todos as abordagens do problema do layout. A vantagem do Just in Time é que este sistema, comprovadamente, apresenta casos reais onde tais metas foram realmente alcançadas, tal como no caso da indústria Toyota do Japão, segundo Schonberger (1987).

A Tecnologia de Grupo foi apresentada como sendo a ferramenta mais apropriada para o projeto do arranjo físico celular. Entre as várias abordagens existentes para este fim, destacam-se duas, o método ROC e o Algoritmo Linear, cujas principais vantagens são a concisão e a simplicidade na implementação. Notou-se, todavia, que nos casos em que o agrupamento das máquinas, utilizando estes dois métodos, não resultava em um arranjo eficiente, os custos de transporte das soluções oferecidas não eram muito inferiores à situação real, resultando em um comprometimento de esforços sem um retorno desejável. Esta situação propiciou a utilização de uma abordagem alternativa à Tecnologia de Grupo, chamada Método dos Elos.

Através do Método dos Elos é possível agrupar todas as máquinas do setor em apenas um cálculo, reduzindo o uso de

recursos de memória e processamento e obtendo-se uma boa solução para o problema.

Por fim, ao se tratar das técnicas de desenho do layout industrial, introduziu-se o conceito de Áreas Mínimas, cuja principal vantagem é expressar todas as finalidades de utilização de espaço físico em um único número, tornando o arranjo físico muito mais bem planejado. Isto ocorre pela previsão de áreas para postos de trabalho, manutenção dos equipamentos, estocagem provisória de WIP, circulação de pessoas e veículos e áreas para futuras expansões.

## 7.2 - RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO

O modelo computacional desenvolvido pôde ser aplicado em uma situação real, graças ao apoio de uma empresa de médio porte do estado de Santa Catarina. Várias constatações foram feitas a partir desta aplicação, destacando-se as seguintes:

- O modelo foi capaz de modificar uma situação real, onde havia uma série de características negativas em relação ao layout, tais como excesso de transportes, localização indevida de máquinas afins, ausência de áreas voltadas para a circulação racional de pessoas, inexistência de espaços adequados para o trabalho de equipes de manutenção de máquinas e fluxos de produção bastante confusos, ocasionando muitos transportes em "contracorrente".

- Através do modelo computacional, foi possível utilizar os métodos ROC e Algoritmo Linear, a partir dos dados da situação real. No caso das máquinas especiais, tinha-se o conhecimento prévio de que estas formavam um subgrupo das máquinas existentes no setor de usinagem. Este fato veio auxiliar o estabelecimento das condições de contorno ideais para o problema, evitando-se considerar no cálculo, também os tornos e as injetoras, pois estes dois grupos de máquinas não possuem relacionamentos com as máquinas especiais. Os resultados do cálculo da eficiência e eficácia do novo arranjo, foram superiores ao valor do limite mínimo estabelecido;

- O cálculo das áreas mínimas de todas as células resultou em um valor menor do que a área útil destinada ao novo arranjo. No entanto, pelo fato da diferença entre ambas ser muito reduzida (cerca de 8 m<sup>2</sup>), impõe-se a previsão de nova área para expansão, caso a demanda continue a aumentar;

- Observou-se que grande parte dos problemas tidos como provenientes do layout industrial, eram na realidade causados por deficiências no processo, tais como a ausência de um programa de Manutenção Preventiva, grande quantidade de refugo e retrabalho e previsões super-dimensionadas da demanda, por parte dos setores de Marketing e Vendas;

- Constatou-se na prática, que a transposição dos métodos da Tecnologia de Grupo e dos Elos, para um algoritmo, demandou maiores esforços do que se previa, em virtude de dificuldades na

tradução das etapas do algoritmo para comandos estruturados do Turbo Pascal; e

- Verificou-se o quanto a movimentação de materiais onera os custos de produção, consistindo em uma atividade bastante nociva, o que justifica inteiramente o número de pesquisas realizadas sobre minimização de transportes.

### 7.3 - SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Existem diversos aspectos do projeto de layout industrial que merecem um estudo mais aprofundado. Dentre as áreas com potencial para novas pesquisas, destacam-se:

- Desenvolvimento de **Sistemas Especialistas** voltados para o projeto do arranjo físico;
- **Análise de Valor** aplicada ao projeto de layout industrial;
- Desenvolvimento de uma interface gráfica para os módulos de entrada e saída de dados que possibilite a alocação das máquinas no novo arranjo físico proposto;
- Inserção do estudo do layout industrial na metodologia do **Gerenciamento de Processos**, com a finalidade de se promover uma análise mais profunda de todo o sistema produtivo e não apenas do problema do arranjo físico; e

- Integração da Manufatura com o auxílio do Computador, CIM, unindo-se softwares de projeto de layout a softwares de previsões de vendas, contabilidade, CAD (Projeto Auxiliado por Computador), CAM (Manufatura Auxiliada por Computador), CAPP (Planejamento do Processo Auxiliado por Computador), CAQ (Qualidade Auxiliada por Computador), CAT (Análise de Tolerâncias Auxiliada por Computador), etc. Desta maneira, todas as atividades da empresa seriam interligadas por um mesmo sistema, tornando realmente a empresa uma entidade única, quebrando barreiras entre departamentos e eliminando fontes de desperdícios, redundâncias desnecessárias e atividades não-agregadoras de valor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- DEISENROTH, Michael P. The pros and cons of CIM. Virginia: Virginia Polytechnic Institute & State University, 1992.
- 2- GROOVER, Mikell P. Automation, production systems, and computer-aided manufacturing. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1987.
- 3- CSILLAG, João Mário. Análise do Valor. São Paulo: Atlas, 1985.
- 4- INGERSOLL Engineers. Integrated manufacturing. Bedford: IFS, 1985.
- 5- RÁNKY, Paul G. Computer Integrated Manufacturing. Londres: Prentice-Hall, 1986.
- 6- SCHONBERGER, Richard J. Técnicas industriais japonesas. São Paulo: Livraria Pioneira, 1987.
- 7- LUBBEN, Richard T. Just-in-time. São Paulo: McGraw-Hill, 1989.

- 8- HERAGU, Sunderesh S. & KUSIAK, Andrew. Efficient models for the facility layout problem. European Journal of Operational Research. 53, 1-13, 1991.
- 9- GONDRAN, Michel & MINOUX, Michel. Graphs and algorithms. Norwich: John Wiley & Sons, 1984.
- 10- OPITZ, H. & WIENDAHL, H.-P. Group Technology and manufacturing systems for small and medium quantity production. Introduction Journal of Production Research, v. 9, n. 1, 181-203, 1971.
- 11- VALLE, Cyro Eyer do. Implantação de indústrias. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975.
- 12- ROSENBLATT, Meir J. The dynamics of plant layout. Management science, v. 32, n. 1, 76-86, 1986.
- 13- ROSENBLATT, Meir J. & LEE, Hau L. A robustness approach to facilities design. Introduction Journal of Production Research, v. 25, n. 4, 479-486, 1987.
- 14- CAMBRON, Kenneth E. & EVANS, Gerald W. Layout design using analytic hierarchy process. Computers & Industrial Engineering, v. 20, n. 2, 211-229, 1991.

- 15- TAM, Kar Yan & LI, Shih Gong. A hierarchical approach to the facility layout problem. Introduction Journal of Production Research, v. 29, n. 1, 165-184, 1991.
- 16- MOORE, James M. The zone of compromise for evaluating layout arrangements. Introduction Journal of Production Research, v. 18, n. 1, 1-10, 1980.
- 17- GROBELNY, Jerzy. On one possible 'fuzzy' approach to facilities layout problems. Introduction Journal of Production Research, v. 25, n. 8, 1123-1141, 1987.
- 18- RAOOT, Arun D. & RAKSHIT, Atanu. A 'fuzzy' approach to facilities lay-out planning. Introduction Journal of Production Research, v. 29, n. 4, 835-857, 1991.
- 19- SAVSAR, Mehmet. Flexible facility layout by simulation. Computers & Industrial Engineering, v. 20, n. 1, 155-165, 1991.
- 20- WATERMAN, Donald A. A guide to Expert Systems. Reading: Addison-Wesley, 1986.
- 21- KUSIAK, Andrew A. & HERAGU, Sunderesh S. The facility layout problem. European Journal of Operational Research, 29, 229-251, 1987.

- 22- CAMPORINI Jr., Sylvio. Uma análise de modelos quantitativos aplicados à solução de problemas de plant layout. (Dissertação de mestrado). São Paulo: Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, 1975.
- 23- O'BRIEN, C. & ABDEL BARR, S.E.Z. An interactive approach to computer aided facility layout. Introduction Journal of Production Research, v. 18, n. 2, 201-211, 1980.
- 24- NOF, Shimon Y. A methodology for computer-aided facility planning. Introduction Journal of Production Research, v. 18, n. 6, 699-722, 1980.
- 25- DUTTA, Kedar Nath & SAHU, Sadananda. A multigoal heuristic for facilities design problems: MUGHAL. Introduction Journal of Production Research, v. 20, n.2, 147-154, 1982.
- 26- MAHAPATRA, P.B. & BEDI, D.S. FALSA - Facilities allocation by statistical analysis. Part II: An heuristic algorithm to the problem of facilities design. Introduction Journal of Production Research, v. 22, n. 2, 183-191, 1984.

- 27- DRISCOLL, J. & SAWYER, J.H.F. A computer model for investigating the relayout of batch production areas. Introduction Journal of Production Research, v. 23, n.4, 783-794, 1985.
- 28- HAMMOUCHE, Amar & WEBSTER, Dennis B. Evaluation of an aplication of graph theory to the layout problem. Introduction Journal of Production Research, v. 23, n. 5, 987-1000, 1985.
- 29- MONTREUIL, Benoit, RATLIFF, H. Donald & GOETSCHALCKX, Marc. Matching based interactive facility layout. IIE Transactions, v. 19, n. 3, 271-279, 1987.
- 30- MOON, Geeju & McROBERTS, Keith L. Combinatorial optimization in facility layout. Computers & Industrial Engineering, v. 17, n. 1-4, 43-48, 1989.
- 31- SVESTKA, Joseph A. MOCRAFT: a professional quality micro-computer implementation of CRAFT with multiple objectives. Computers & Industrial Engineering, v. 18, n. 1, 13-22, 1990.
- 32- ABDOU, G. & DUTTA, S.P. An integrated approach to facilities layout using expert systems. Introduction

Journal of Production Research, v. 28, n. 4, 687-708, 1990.

- 33- HERAGU, Sunderesh S. & KUSIAK, Andrew. Machine layout: an optimization and knowledge-based approach. Introduction Journal of Production Research, v. 28, n. 4, 615-635, 1990.
- 34- ZIAI, M. Reza & SULE, Dileep R. Computerized facility layout design. Computers & Industrial Engineering, v. 21, n. 1-4, 385-389, 1991.
- 35- LORINI, Flávio José. Tecnologia de Grupo e organização da manufatura. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1993.
- 36- WEI, Jerry C. & KERN, Gary M. Commonality analysis: A linear cell clustering algorithm for group technology. Introduction Journal of Production Research, v. 27, n. 12, 2053-2062, 1989.
- 37- KUMAR, C. Suresh & CHANDRASEKHARAN, M.P. Grouping efficacy: a quantitative criterion for goodness of block diagonal forms of binary matrices in group technology. Introduction Journal of Production Research, v. 28, n. 2, 233-243, 1990.

- 38- KETCHAM, Ronald L., MALSTROM, Eric M. & McROBERTS, Keith L.  
A comparison of three computer assisted facilities  
design algorithms. Computers & Industrial Engineering.  
v. 16, n. 3, 375-386, 1989.
- 39- ALLENBACH, Randy & WERNER, Mary. Facility layout program.  
Computers & Industrial Engineering. v. 19, n. 1-4, 290-  
293, 1990.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 - AFENTAKIS, Panos. A model for layout design in FMS. In Andrew Kusiak (Editor). Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies. Amsterdã: North Holland, 1986.
- 2 - BASTOS, Lília da Rocha, PAIXÃO, Lyra, FERNANDES, Lúcia Monteiro. Manual para a elaboração de projetos e relatórios de pesquisa, teses e dissertações. Rio de Janeiro: Guanabara, 1982.
- 3 - BOE, Warren J., CHENG, Chun Hung. A close neighbour algorithm for designing cellular manufacturing systems. Introduction Journal of Production Research, v. 29, n. 10, 2097-2116, 1991.
- 4 - CHARUMONGKOL, Veeravudhi. Interactive Microcomputer graphic methods for smoothing CRAFT layouts. Computers & Industrial Engineering, v. 19, n. 1-4, 304-308, 1990.
- 5 - CHEN, Chin-Sheng, KENGSKOOL, Khokiat. An AutoCAD based Expert System for Plant Layout. Computers & Industrial Engineering, v. 19, n. 1-4, 299-303, 1990.

- 6 - CO, Henry, WU, Albert, REISMAN, Arnold. A throughput-maximizing facility planning and layout model. Introduction Journal of Production Research, v. 27, n. 1, 1-12, 1989.
- 7 - CULBRETH, D.N. Manufacturing model: an integrated approach to planning, design and managing industrial facilities. Computer Aided Design, v. 21, n. 1, 49-53, 1989.
- 8 - DUTTA, Kedar Nath, SAHU, Sadananda. Some studies on distribution parameters for facilities design problems. Introduction Journal of Production Research, v. 19, n. 6, 725-736, 1981.
- 9 - EVANS, G.W., WILHELM, M.R., KARWOWSKI, W. A layout design heuristic employing the theory of fuzzy sets. Introduction Journal of Production Research, v. 25, n. 10, 1431-1450, 1987.
- 10 - FATTOUCH, Nagib Georges. Metodologia para Alteração do Arranjo Físico do Setor Produtivo de Pequenas e Médias Empresas. (Dissertação de Mestrado). Florianópolis: Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, 1989.

- 11 - FORTENBERRY, Jesse C., COX, James F. Multiple criteria approach to the facilities layout problem. Introduction Journal of Production Research, v. 23, n. 4, 773-782, 1981.
  
- 12 - FRANCIS, Richard L., WHITE, John A. Facility Layout and Location. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1974.
  
- 13 - GALBRAITH, Lissa, MILLER, William. A multifactor approach to selecting computer generated electronics assembly facility layouts. Computers & Industrial Engineering, v. 18, n. 1, 1-11, 1990.
  
- 14 - GOLANY, Boaz, ROSENBLATT, Meir J. A heuristic algorithm for the quadratic assignment formulation to the plant layout problem. Introduction Journal of Production Research, v. 27, n. 2, 293-308, 1989.
  
- 15 - HAYES-ROTH, Frederick. The knowledge-based expert system: a tutorial. Computer, v. 17, n. 9, 11-28, 1984.
  
- 16 - HERAGU, Sunderesh S. Knowledge based approach to the machine cell layout. Computers & Industrial Engineering, v. 17, n. 1-4, 37-42, 1989.

- 17 - HERROELEN, W. VAN GILS, A. On the use of flow dominance in complexity measures for facility layout problems. Introduction Journal of Production Research, v. 23, n. 1, 97-108, 1985.
- 18 - HOFFMAN, Paul. Microsoft Word for Windows 2. São Paulo: McGraw-Hill, 1992.
- 19 - KAKU, Bharat K., THOMPSON, Gerald L., MORTON, Thomas E. A hybrid heuristic for the facilities layout problem. Computers and Operations Research, v. 18, n. 3, 241-253, 1991.
- 20 - KALTNEKAR, Zdravko. Some algorithms for decision-making about lay-out of production systems. Introduction Journal of Production Research, v. 18, n. 4, 467-478, 1980.
- 21 - KUMARA, Soundar R.T., KASHYAP, R.L., MOODIE, C.L. Expert Systems for industrial facilities layout planning and analysis. Computers & Industrial Engineering, v. 12, n. 2, 143-152, 1987.
- 22 - KUSIAK, A., CHO, M. Similarity coefficient algorithms for solving the group technology problem. Introduction Journal of Production Research, v. 30, n. 11, 2633-2646, 1992.

- 23 - LEUNG, Lawrence C., MILLER, William A., OKOGBAA, Geoffrey. Justification of manufacturing Expert systems: a framework for analysis. Computers & Industrial Engineering, v. 19, n. 1-4, 539-542, 1990.
- 24 - LEWIS, W.P., BLOCK, T.E. On the application of computer aids to plant layout. Introduction Journal of Production Research, v. 18, n. 1, 11-20, 1980.
- 25 - LIMA, Paulo Rodrigues, ABDALLA, José Gustavo, LIMA, Fernando Rodrigues. Projeto de "Layout" Industrial com Auxílio de Microcomputador. Trabalho apresentado no VII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, na UFF, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1987.
- 26 - MALAKOOTI, B. Multiple objective facility layout: a heuristic to generate efficient alternatives. Introduction Journal of Production Research, v. 27, n. 7, 1225-1238, 1989.
- 27 - MALAKOOTI, B., TSURUSHIMA, Akira. An Expert-System using priorities for solving multiple-criteria facility layout problems. Introduction Journal of Production Research, v. 27, n. 5, 793-807, 1989.

- 28 - MICHIE, Donald. Expert Systems. The Computer Journal, v. 23, n. 4, 369-376, 1980.
- 29 - MONTREUIL, B. Requirements for representation of domain knowledge in intelligent environments for layout design. Computer Aided Design, v. 22, n. 2, 97-108, 1990.
- 30 - MONTREUIL, Benoit, RATLIFF, H. Donald. Utilizing Cut Trees as design skeletons for facility layout. IIE Transactions, v. 21, n. 2, 136-143, 1989.
- 31 - MUTHER, Richard. Planejamento do Layout: Sistema SLP. São Paulo: Edgar Blücher, 1978.
- 32 - POSSAMAI, Osmar, MARQUES, Silvio Romero Adjar, SELIG, Paulo. A Análise do Valor aplicada ao projeto de layout industrial. Santos: Anais do Seminário sobre Engenharia Industrial da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1992.
- 33 - RABUSKE, Márcia Aguiar. Introdução à Teoria dos Grafos. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1992.
- 34 - SHUBIN, John A., MADEHEIM, Huxley. Plant Layout. Nova Délhi: Prentice-Hall, 1965.

- 35 - SRINIVASAN, G., NARENDRAN, T.T. GRAFICS - an non hierarchical clustering algorithm for group technology. Introduction Journal of Production Research, v. 29, n. 3, 463-478, 1991.
- 36 - SRINIVASAN, G., NARENDRAN, T.T. MAHADEVAN, B. An assignment model for the part-families problem in Group Technology. Introduction Journal of Production Research, v. 28, n. 1, 145-152, 1990.
- 37 - STAA, Arndt von. Engenharia de Programas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1987.
- 38 - VOSS, C.A. (Editor). Just-in-Time Manufacture. Londres: IFS, 1988.
- 39 - WEISKAMP, Keith, HEINY, Loren. Programação Gráfica em TURBO PASCAL 6. Rio de Janeiro : Ciência Moderna, 1992.