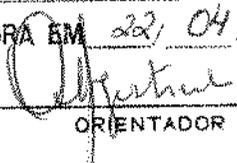


Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Mecânica

Área de Materiais e Processos de Fabricação

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL
DA TESE DEFENDIDA POR PAULO CORRÊA LIMA

E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 22/04/93


ORIENTADOR

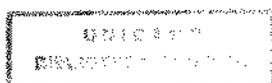
***Um Sistema de Programação Finita
baseado em Lógica Nebulosa***

Autor: *Paulo Corrêa Lima K/628*

Orientador: *Prof. Dr. Oswaldo Luiz Agostinho 1943- K*

16/93 Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica, da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA

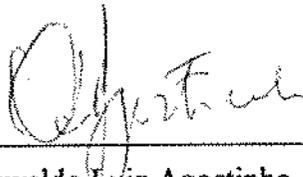
Abril de 1993



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Mecânica

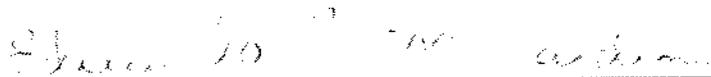
Tese de: *Doutorado*
Título da Tese: *Um sistema de Programação Finita baseado em Lógica Nebulosa*
Autor: *Paulo Corrêa Lima*
Orientador: *Prof. Dr. Oswaldo Luiz Agostinho*

Aprovado por:



Prof. Dr. Oswaldo Luiz Agostinho,

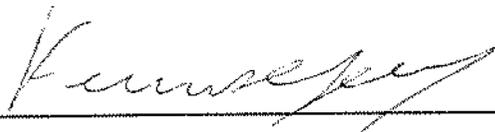
Presidente



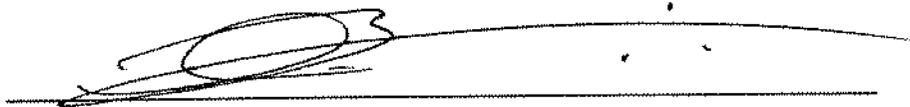
Prof. Dr. Eduardo Galvão Moura Jardim



Prof. Dr. Henrique Rozénfeld



Prof. Dr. Fernando Antonio Campos Gomide



Prof. Dr. Antonio Batocchio

Campinas,

de abril de 1993

A Cristina,

Pedro e Tomás

Agradecimentos

Agradeço a todos os colegas, professores e funcionários do Departamento, pelo apoio e incentivo à realização deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Oswaldo Luiz Agostinho pela orientação do presente trabalho.

Ao Prof. Fernando A. C. Gomide, da FEE/UNICAMP, e aos Engs. Hélio J. de Almeida, Isaias M. C. Ribeiro e Maurício A. da Silva, da HI Tecnologia, por terem-me introduzido, de uma forma clara, nesse mundo da lógica nebulosa e, também, pelo incentivo à realização desta pesquisa.

Quero destacar aqui o apoio ao desenvolvimento deste trabalho da empresa Plásticos Metalma, na pessoa de seu superintendente o Sr. Enrico Trifiletti e do Eng. Ricardo Fiúza. À eles serei sempre grato.

À Rosana Beatriz Haddad, um abraço especial pelo incentivo no decorrer de todo o trabalho.

Agradeço o apoio da Fundação Centro Tecnológico para Informática, na pessoa de seu diretor Eng. Ronaldo Cardoso Lemos e do Eng. Carlos Alberto Passos, na fase inicial deste trabalho e, também, a todos os colegas da divisão.

Finalmente, a Cristina, Pedro e Tomás minha eterna gratidão pela paciência, compreensão e estímulo, durante todo o transcorrer desta caminhada.

Sumário

	Dedicatória	ii
	Agradecimentos	iii
	Sumário	iv
	Lista de figuras	vii
	Lista de tabelas	x
	Símbolos utilizados	xi
	Resumo	xii
	Abstract	xiii
Capítulo 1	Introdução	1
1.1	Objetivos do trabalho	3
1.2	Conteúdo do trabalho	3
Capítulo 2	O Estado da arte em Programação de Produção	5
2.1	A Programação da Produção	6
2.2	Características de um Sistema de Programação de Produção	8
2.3	Abordagens de Programação da Produção	11
2.3.1	Práticas Industriais	11
2.3.2	Teoria de Programação e Sequenciamento	22
2.3.3	Simulação a Eventos Discretos	27
2.3.4	Técnicas de Inteligência Artificial	28
2.3.5	Avanços Recentes dos Sistemas de Programação de Produção	30
2.3.5.1	O Papel da Programação Finita	31
2.3.5.2	Revisão/Liberação de Ordens para a produção	32
2.3.5.3	Arquitetura dos Sistemas de Programação Finita	35
2.3.5.4	Modelagem dos Sistemas e Capabilidades de Tomada de Decisão	36
2.4	Comentários	38
Capítulo 3	Lógica Nebulosa	39

3.1	Conjuntos Nebulosos e Lógica Nebulosa	40
3.1.1	Os Conjuntos Nebulosos e sua Terminologia	40
3.1.2	Operações com conjuntos	41
3.1.3	Variáveis Linguísticas e Conjuntos Nebulosos	45
3.1.4	Lógica Nebulosa e Raciocínio Aproximado	47
3.2	Sistema de Tomada de Decisão Baseado em Lógica Nebulosa	50
3.2.1	A Função de Fuzzyficação	51
3.2.2	A Base de Funções	52
3.2.3	A base de Regras	54
3.2.4	Procedimento de Inferência	55
3.2.5	A Função de Defuzzyficação	58
3.3	Comentários	59
Capítulo 4	Proposta de Modelo	61
4.1	Objetivos da Programação de Produção	62
4.2	Divisão da Tarefa de Programação de Produção	63
4.3	Fases de Alocação de Recursos	64
4.4	Fase de Sequenciamento	68
4.4.1	Dinâmica do Processo de Simulação	68
4.4.2	Crterios Utilizados no Sequenciamento das Ordens de Produção	69
4.4.3	Estrutura do sistema de Tomada de Decisão baseado na Lógica Nebulosa	71
4.4.4	Base de Conhecimento Nebulosa para Avaliação Tecnológica	74
4.4.5	Base de Conhecimento Nebulosa para Avaliação Gerencial	78
4.4.6	Fronteira de Carregamento	83
4.5	Comentários	85
Capítulo 5	Implementação do Sistema Testes e Resultados	87
5.1	Características da Empresa onde o Modelo foi Implantado	88
5.1.1	Características do Sistema de Produção	88
5.1.2	Ambiente Computacional	91

5.1.3	Base de Conhecimento Nebulosa para a Avaliação Tecnológica	94
5.2	Fase de Alocação de Recursos	99
5.3	Fase de Sequenciamento	105
5.3.1	Sequenciamento Manual	107
5.3.2	Sequenciamento Automático	110
5.3.3	Sequenciamento Assistido	113
5.4	Resultados	117
5.5	Comentários	123
Capítulo 6	Conclusão	125
	Apêndice A	128
	Apêndice B	140
	Referências Bibliográficas	145
	Bibliografias Consultadas	152

Lista de figuras

Figura 1.1	Parâmetros da programação de produção	2
Figura 2.1	Solução do problema de programação da tabela 2.1 minimizando o tempo total de produção	8
Figura 2.2	O Fluxo Lógico do MRPII	13
Figura 2.3	A técnica do MRP	15
Figura 2.4	Gráficos de Perfil de Carga considerando Capacidade Infinita e Finita	17
Figura 2.5	Esquema de divisão das redes do OPT	20
Figura 2.6	Ambiente de programação da produção	23
Figura 2.7	O papel da Programação finita	31
Figura 2.8	O modelo de Funil e Diagrama de Passagem	33
Figura 2.9	Revisão/ Liberação de Ordens de Produção	34
Figura 2.10	Arquitetura de um sistema de Programação Finita	35
Figura 3.1	Ilustração de união e interseção de conjuntos nebulosos	42
Figura 3.2	Exemplo de uma relação binária de composição	45
Figura 3.3	Conjuntos nebulosos convexo e não-convexo em R^1	46
Figura 3.4	Representação gráfica na variável lingüística temperatura, com os três termos que a caracterizam: baixa, agradável e alta.	47
Figura 3.5	Configuração básica de um Sistema de Tomada de Decisão baseado em Lógica Nebulosa	50
Figura 3.6	Representação gráfica de dois tipos de partição nebulosa: (a) Uma partição grosseira com três termos: N, negativo; ZE, zero; P, positivo. (b) Uma partição fina com sete termos: NG, negativo grande; NM, negativo médio; NP, negativo pequeno; ZE, zero; PP, positivo pequeno; PM, positivo médio; PG, positivo grande.	53
Figura 3.7	Exemplo de subconjuntos nebulosos definidos por função	54
Figura 3.8	Representação gráfica do procedimento de inferência	58
Figura 3.9	Representação gráfica da função de defuzzyficação	59

Figura 4.1	Procedimento de cálculo para a data de início planejada pelo MRP e da data de início mais tarde ao nível da programação de produção	66
Figura 4.2	Gráfico de carga de máquina, mostrando a carga de três máquinas	67
Figura 4.3	Esquema da simulação do progresso das ordens de produção	70
Figura 4.4	Processo de Avaliação das ordens de produção candidatas	73
Figura 4.5	Representação gráfica da variável linguística $delXi$, onde x é a dimensão que expressa as variações de Xi	75
Figura 4.6	Representação gráfica da variável linguística <i>setup</i>	76
Figura 4.7	Representação gráfica da variável linguística <i>emfase</i>	79
Figura 4.8	Representação gráfica da variável linguística <i>priorid</i>	80
Figura 4.9	Conceitos de Fronteira de Tempo aplicado às ordens de produção candidatas	84
Figura 4.10	O uso da Fronteira de Carregamento com o parâmetro de controle da simulação	85
Figura 5.1	Esquema do fluxo de materiais na fábrica	88
Figura 5.2	Esquema da estrutura dos produtos	89
Figura 5.3	Arquitetura do Sistema de Programação Finita implementado	93
Figura 5.4	Representação gráfica da variável linguística <i>deleesp</i>	94
Figura 5.5	Representação gráfica da variável linguística <i>dellarg</i>	95
Figura 5.6	Representação gráfica da variável linguística <i>delcor</i>	96
Figura 5.7	Fase de Alocação de Recursos, etapa inicial de alocação	102
Figura 5.8	Tela do Sistema para realocações de Ordens de Produção	104
Figura 5.9	Abertura da tela básica para o sequenciamento da produção	106
Figura 5.10	Esquema de arrumação dos produtos na extrusão	107
Figura 5.11	Interação entre a tela básica e a tela de resultados no sequenciamento manual	109
Figura 5.12	Interação entre a tela básica e de resultados, após um sequenciamento automático	111
Figura 5.13	Tela do gráfico de carga máquina após o sequenciamento da produção	112

Figura 5.14	Uma situação de programação parcial na tela de gráfico de carga máquina e, na parte inferior, essa mesma situação na tela de sequenciamento assistido.	114
Figura 5.15	Caixa de diálogo para o sequenciamento assistido com exemplos de diferentes ordenações	116
Figura 5.16	Comparação relativa do desempenho das regras	119
Figura 5.17	Gráfico das somatórias de adiantamentos e atrasos	120
Figura 5.18	Gráfico do número de grupos de cor preto	121
Figura 5.19	Gráfico das somatórias de variações de espessura e do número de preparações sem variação da espessura	122
Figura 5.20	Gráfico das somatórias de variações de largura e do número de preparações sem variação de largura	123

Lista de tabelas

Tabela 2.1	Dados de tempo de fabricação e máquinas para um problema de programação de três ordens de produção em três máquinas	7
Tabela 4.1	Valores de Setup	76
Tabela 4.2	Base de regras resumida para avaliação tecnológica	77
Tabela 4.3	Valores de Prioridade para clientes preferenciais	80
Tabela 4.4	Valores de Prioridade para clientes não preferenciais	81
Tabela 4.5	Base de regras resumida para a avaliação gerencial	82
Tabela 5.1	Valores de Setup para Δ de cor <i>minima</i> 3	96
Tabela 5.2	Valores de Setup para Δ de cor <i>baixa</i> 3	97
Tabela 5.3	Valores de Setup para Δ de cor <i>media</i> 3	97
Tabela 5.4	Valores de Setup para Δ de cor <i>alta</i> 3	97
Tabela 5.5	Base de regras resumida para avaliação tecnológica	98
Tabela 5.6	Famílias de Produtos vs. Máquinas	100
Tabela B.1	Programa de produção gerado a partir da regra STP	141
Tabela B.2	Programa de produção gerado a partir da regra EDD	142
Tabela B.3	Programa de produção efetivamente realizado	143
Tabela B.4	Programa de produção gerado pelo sistema no modo de Sequenciamento Automático	144

Símbolos utilizados

Símbolo	Descrição
μ	Função de pertinência
C	Chapa
hs	Horas
M	Moldado
m	Número de máquinas
me	Máquina Extrusora
n	Número de ordens
Op	Ordem de produção
pc	Peça
PI	Ordens produzidas para estoque
PO	Ordens com pedidos colocados
t	Tempo
T. de Manuf.	Tempo de Manufatura
T. Fabr.	Tempo de Fabricação
T. Outr.	Tempo para transporte, espera e preparação da máquina

Resumo

Neste trabalho faz-se uma pesquisa sobre o estado da arte atual em sistemas de Programação de Produção. Define-se as características de um sistema de programação e, em seguida são apresentados os principais paradigmas utilizados na solução do problema, que são: práticas industriais, teoria de programação, simulação, inteligência artificial e programação finita.

Apresenta-se, também, as idéias básicas sobre o uso da lógica nebulosa nos sistemas de tomada de decisão. Apesar de existir uma complexa base formal sustentando seu uso em sistemas de tomada de decisão, evidencia-se neste trabalho somente o necessário para o entendimento da teoria básica dos sistemas de tomada de decisão baseados na lógica nebulosa.

Faz-se uma proposta de um modelo de programação finita baseada na lógica nebulosa. Descreve-se as etapas alocação de recursos e sequenciamento do sistema proposto. Para a fase de sequenciamento discute-se o processo de sequenciamento, os critérios utilizados, considerando-se os aspectos tecnológicos e gerenciais, e o sistema de tomada de decisão. Define-se as bases de funções e as bases de regras do sistema.

Finalmente, apresenta-se o ambiente de produção no qual o modelo foi testado. Caracteriza-se os critérios tecnológicos referentes a esse ambiente de produção e, descreve-se a implementação computacional do sistema enfatizando a interação homem/máquina. Analisa-se os resultados do sistema de programação finita baseado em lógica nebulosa, comparativamente a programações realizadas segundo duas regras tradicionais, ao efetivamente realizado na empresa.

Os resultados evidenciam o bom desempenho da programação finita baseada na lógica nebulosa, principalmente no que se refere a uma melhor ponderação entre os objetivos perseguidos no processo de programação de produção.

Abstracts

This work proposes a model for Finite Scheduling based on fuzzy logic. Initially, it presents the actual state of the art in Production Scheduling Systems. The main characteristics of the Scheduling systems are defined and the main paradigms utilized for problem solution are presented. Are they: industrial practices, scheduling theory, simulation, artificial intelligence and finite scheduling.

Later, the basic ideas about the use of fuzzy logic in decision systems are presented. Even the existence of a complex formal base supporting its use on decision support system, this work just presents the necessary parts for the understanding of the theory of decision support systems based on fuzzy logic.

The model proposes two hierarchical levels for Finite Scheduling based on fuzzy logic. The resource allocations and sequencing levels of the proposed model are described. For the sequencing level it discusses the sequencing process, the utilized criteria, and the decision making system. The membership functions and the rule base are defined.

Finally, it presents the production environment in which the system was implemented. The technological criterion for this environment is characterized. The computational aspect of the system implementation is described, with emphases on man/machine interfaces. The results presented by the Finite Scheduling based on fuzzy logic is compared with the scheduling based on two conventional rules and with the scheduling that was effective realized on the factory floor.

The results evidence the good performance of the Finite Scheduling based on fuzzy logic, with enfasys on a improved ponderation between the persecuted objectives.

Capítulo 1

Introdução

A programação de produção consiste na alocação de recursos de produção no tempo, para realizar uma série de tarefas, atendendo a alguns critérios de desempenho [Baker,1974].

O desafio da programação de produção é atender a vários objetivos simultaneamente. O atendimento da demanda é o primeiro deles, sendo o segundo ter capacidade de produção suficiente para atender essa demanda.

O trabalho de programação de produção pode terminar com o atendimento da demanda e das restrições de capacidade, e freqüentemente termina. Somente a satisfação destes dois objetivos, no entanto, não assegura a lucratividade do negócio, pois a manutenção de um bom nível de atendimento aos clientes pode estar associada a um aumento dos estoques [Mirsk,1992].

A programação de produção tem efeito direto nos custos e pode ser alterada para minimizá-los. Os custos de produção afetos à programação de produção são:

- O custo de preparação da máquina, que ocorre quando se troca de um produto para outro. Cada vez que se prepara a máquina uma certa capacidade de produção é perdida. A perda de capacidade é um custo oculto, especialmente quando se precisa de mais capacidade de produção. Além disso, a preparação da máquina adiciona custos de troca ou ajustes de ferramental e dispositivos, material para a limpeza da máquina, entre outros.

Na medida em que a indústria de processos é intensiva em capital, existe a necessidade de que as máquinas sejam plenamente utilizadas. A combinação da perda de capacidade e os custos de

preparação da máquina são um motivo real para motivar a minimização dos custos de preparação. Como resultado tem-se níveis de estoques mais altos;

- O custo dos estoques corresponde ao custo do produto manufaturado mais o custo de manter os produtos armazenados, aguardando o momento da entrega. Suas implicações no fluxo de caixa das empresas afetam dramaticamente a lucratividade;
- O atendimento da demanda, também pode ser analisado sob o ponto de vista de custo/benefício, quando em função das restrições de capacidade não se é possível atender todos os clientes nas datas de entrega previstas.

Em resumo, no processo de programação de produção, diversos fatores podem ser otimizados. Não é somente expedir os produtos na data combinada mantendo-se um bom nível de atendimento aos clientes. Os custos de preparação e o custo dos estoques contribuem de uma forma significativa no custo

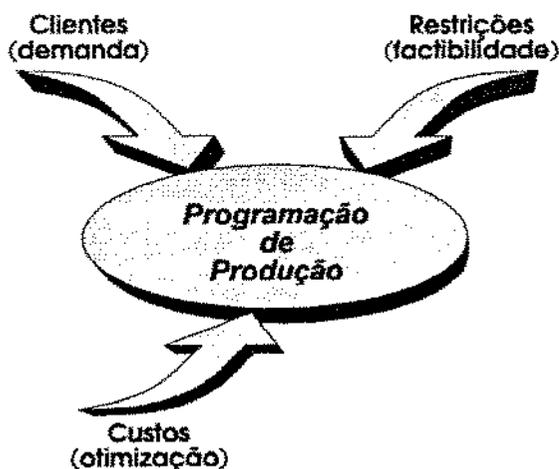


Figura 1.1. Parâmetros da programação de produção

total do produto. A programação da produção é, portanto, uma tarefa crítica para o controle de custos (figura 1.1). Nesse sentido três questões devem ser consideradas:

- Se por um lado, a programação de produção é um fator determinante no controle dos custos, por outro lado faz-se necessário conhecer os custos para se tomar corretamente as decisões. No entanto, o custo de obtenção dos valores dos custos de preparação e armazenagem, além dos custos e benefícios do nível de atendimento aos

clientes, pode ser proibitivo num sistema de produção com muitos produtos diferentes;

- As decisões de programação fazem parte do dia a dia dos planejadores de produção e são tomadas com base no conhecimento e na experiência adquirida ao longo dos anos, sem o apoio das áreas de custos;
- Os planejadores têm dificuldades de tomar decisões num horizonte de mais de um, dois ou três dias. Os fatores que limitam a programação num horizonte mais longo pelo planejador, são o tempo reduzido

para se fazer a programação e a necessidade de se refazer o trabalho constantemente, dada a grande variação na demanda.

A resposta para estas questões está na aplicação de um sistema computacional de programação de produção baseado na lógica nebulosa, que é uma técnica para se manusear informações qualitativas de uma maneira rigorosa. A aplicação da lógica nebulosa no processo de tomada de decisão da programação de produção, permite explorar sua principal característica, que é a tolerância à imprecisão das informações, minimizando o detalhamento e a precisão das informações necessárias ao processo de tomada de decisão.

1.1. Objetivos do trabalho

Os objetivos do trabalho são os seguintes:

- Especificar e aplicar, para a solução do problema de programação de produção, uma metodologia baseada na lógica nebulosa, de modo a permitir a modelagem e o tratamento de objetivos múltiplos, não facilmente quantificáveis e conflitantes entre si. E dessa forma tornar simuláveis ambientes com sistemas de produção não contemplados pelas técnicas tradicionais de programação da produção;
- Obter a solução do problema de programação de produção em tempos computacionais compatíveis com o ambiente de programação; e,
- Testar sua aplicação em um ambiente real de produção.

1.2. Conteúdo do trabalho

A estrutura do trabalho é descrita a seguir.

No capítulo 2 faz-se uma revisão bibliográfica onde se procura apresentar o estado da arte em programação de produção. Define-se o problema de programação de produção e aborda-se as características dos ambientes industriais quanto à programação de produção. Em seguida descreve-se as principais técnicas empregadas na solução do problema, além dos recentes avanços obtidos nesta área.

O capítulo 3 apresenta de uma forma resumida os conceitos básicos sobre conjuntos nebulosos, lógica nebulosa, raciocínio aproximado e sistemas de tomada de decisão baseados em lógica nebulosa. Estes conceitos formam a base conceitual da modelagem desenvolvida no capítulo seguinte.

No capítulo 4 é apresentado o modelo de programação de produção proposto neste trabalho. Descreve-se os objetivos do modelo, o processo de programação de produção, composto das fases de alocação de recursos e sequenciamento, os critérios utilizados na programação de produção e o sistema de tomada de decisão baseado em lógica nebulosa. Em seguida são apresentadas as bases de conhecimento nebulosas utilizadas no processo de tomada de decisão e o conceito de fronteira de carregamento.

No capítulo 5 apresenta-se o ambiente de produção para o qual o modelo foi aplicado, a implementação do sistema e resultados. Descreve-se o ambiente de produção quanto ao tipo de produção, produtos e as principais características do processo produtivo. Sobre o sistema, descreve-se o ambiente computacional utilizado e as principais características da implementação de cada fase de programação da produção, enfocando a interação planejador da produção/sistema. Os resultados da programação de produção são apresentados comparativamente a resultados obtidos em programações baseadas em regras tradicionais e, também, a uma programação efetivamente realizada na empresa.

Finalmente, no capítulo 6 faz-se as conclusões do trabalho e, apresenta-se as sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

O Estado da Arte em Programação de Produção

Este capítulo apresenta um levantamento do estado atual do conhecimento de modo a avaliar a abrangência e as implicações das pesquisas e práticas de sistemas de programação de produção. Os recentes avanços observados na teoria da programação da produção transcenderam as fronteiras tradicionais dessa área de conhecimento. Inicialmente, os trabalhos sobre programação de produção estavam restritos às áreas de pesquisa operacional, engenharia industrial e ciência de administração. Mais recentemente as pesquisas sobre problemas de produção tem sido reportadas em publicações que dizem respeito a teoria de controle, inteligência artificial, simulação de sistemas, entre outras, nas áreas de engenharia e computação. A grande diversidade e o volume de trabalhos faz com que os desenvolvimentos realizados em sistemas de programação de produção tenham uma dificuldade crescente de se rastrear e assimilar.

Este levantamento procura fornecer uma visão estruturada do problema, e fazer uma crítica limitada a cinco paradigmas de programação de produção, seja pela significação histórica de alguns, seja pela potencialidade de outros.

Na primeira seção deste capítulo, é definido o problema de programação de produção e a seção seguinte descreve as principais características de ambientes industriais de aplicação da programação de produção. Um resumo das abordagens do problema é apresentado na terceira seção. Entre estas encontram-se as abordagens usadas atualmente na prática industrial, e aquelas baseadas na teoria da programação e sequenciamento da produção, simulação a eventos discretos, inteligência artificial e

programação finita. Na seção final são feitas algumas considerações sobre as características do problema e os paradigmas apresentados.

2.1. A Programação da Produção

A programação da produção consiste na alocação de recursos de produção no tempo, para realizar uma série de tarefas, atendendo a alguns critérios de desempenho. Na maioria dos casos, no entanto, a programação não é elemento de preocupação até que os problemas fundamentais de planejamento estejam resolvidos. Deve ser, também, reconhecido que as decisões de programação tem importância secundária em relação as decisões gerenciais mais amplas. Por exemplo, nas aplicações de manufatura os problemas gerenciais envolvem a determinação de quais produtos serão produzidos e seus respectivos volumes de produção. Depois que os estudos de mercado e análises econômicas foram realizados para resolver estas questões, o planejamento do processo enfoca a questão de como produzir.

Somente a partir desse ponto e do conhecimento sobre a disponibilidade dos recursos, é que se torna apropriado considerar o problema de programação [Baker,1974]. O problema de programação contempla um conjunto de ordens de produção a serem executadas, onde cada ordem compreende um conjunto de operações, para atender um determinado planejamento de produção.

As operações requerem materiais e máquinas e/ou homens e devem ser realizadas em uma seqüência que respeite as restrições tecnológicas. Estes requisitos fazem com que os problemas de programação encontrem dois tipos de restrições de factibilidade. A primeira, são os limites de capacidade dos recursos disponíveis e a segunda, as restrições tecnológicas em relação a ordem que as tarefas podem ser executadas. Portanto a solução do problema deve responder as seguintes questões:

- a. Quais recursos serão alocados para executar cada tarefa ?
- b. Quando cada tarefa será executada ?

Para responder a estas questões a solução do problema de programação requer: (a) decisões de alocação de recursos e (b) decisões de sequenciamento de tarefas.

Nesse processo de tomada de decisão, diversos fatores influenciam a programação da produção, tais como: a prioridade das ordens de produção, as datas de entrega, os horários de disponibilidade das

ordens de produção (data e hora a partir da qual a ordem está disponível para a produção), os custos de produção, os níveis de produção, as restrições quanto ao tamanho dos lotes, a disponibilidade das máquinas, a capacidade das máquinas, a ordem de precedência entre as operações, as necessidades e a disponibilidade de recursos. Os critérios de desempenho geralmente envolvem um compromisso entre: a manutenção de estoques finais e intermediários, custos de armazenagem, frequência de mudança dos lotes de produção e o atendimento de datas de entrega.

Os conceitos descritos acima podem ser ilustrados através de um exemplo simples de programação de produção. São apresentados na tabela 2.1 os dados de três ordens de produção (Op.) e seus respectivos roteiros de fabricação, que devem ser produzidos em três máquinas. A figura 2.1 apresenta o gráfico de Gantt e mostra uma solução para o problema, que minimiza o tempo total necessário para produzir todas as ordens de produção.

Tabela 2.1. Dados de tempos de fabricação e máquinas para um problema de programação de três ordens de produção em três máquinas

Op.	Seqüência de Operações		
	1	2	3
1	1 / M ₁	8 / M ₂	4 / M ₃
2	6 / M ₂	5 / M ₁	3 / M ₃
3	4 / M ₁	7 / M ₃	9 / M ₂

O exemplo descrito acima é uma abstração quase que trivial dos problemas de programação de produção encontrados nos ambientes industriais, que envolvem tanto objetivos como restrições múltiplos, dinâmicos e complexos. Apesar de sua simplicidade, a dificuldade de se encontrar a solução ótima para o problema descrito no exemplo, cresce exponencialmente com o aumento do número de máquinas ou o aumento do número de ordens de produção [Cheng & Sin, 1990]. Em função disso, a busca por soluções

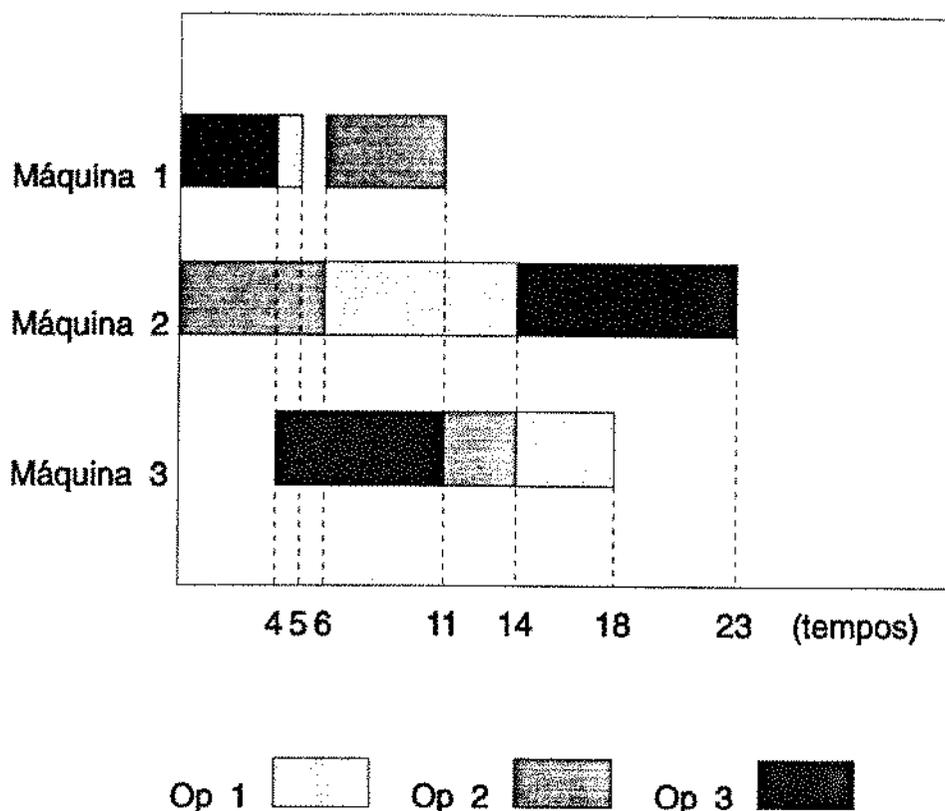


Figura 2.1. Solução do problema de programação da tabela 2.1 minimizando o tempo total de produção

ótimas fica restrita a problemas de menor porte. Nos problemas de porte maior, as atenções tem sido voltadas para o desenvolvimento de algoritmos que buscam soluções sub-ótimas.

2.2. Características de um Sistema de Programação de Produção

A dificuldade de se encontrar uma solução ótima ou de se tratar os problemas encontrados na prática, levou à adoção de diversas simplificações nas premissas dos sistemas de programação de produção, de modo a reduzir o tempo de computação utilizado na busca de soluções. Em função das simplificações adotadas, uma dada abordagem de programação deve ser classificada de acordo com a representação e o tratamento das complexidades inerentes ao sistema de manufatura. Na medida em que num menor ou maior grau, cada ambiente de produção é único, o grau de adequação de uma dada abordagem de programação deve ser avaliado por quão bem suas premissas correspondem, às características mais importantes, de um dado ambiente de produção.

Rodammer e White [1988] definiram cinco atributos de sistemas de programação de produção típicos, de modo a distinguir melhor os paradigmas considerados. Esses atributos são descritos a seguir.

• *Condições Iniciais e Horizonte de Tempo*

Uma programação de produção é implementada em algum instante no tempo. Com excessão das situações iniciais onde todas as máquinas estão paradas, é raro encontrar-se situações em que todas as máquinas estejam paradas e prontas para iniciar qualquer tarefa; que não haja nenhuma ordem em andamento; e, que todos os operadores e materiais estejam plenamente disponíveis. Comumente observa-se que o problema de programação da produção é, na realidade, um problema de reprogramação, isto é, a modificação de um programa de produção existente de modo a considerar as novas ordens, novas prioridades, ou uma parada não prevista da produção. A abordagem de programação deve ser capaz de considerar os possíveis estados iniciais do sistema de produção, de modo a propiciar a reprogramação.

A programação da produção estende-se sobre um horizonte de tempo finito. Num sistema de produção onde um conjunto de ordens de produção se repete em ciclos regulares, o horizonte de programação fica geralmente atrelado ao calendário, com períodos semanais, quinzenais ou mensais, onde os níveis de produção são compatíveis com a capacidade disponível. Num sistema de produção não repetitivo, o horizonte de programação deve se estender até a última data de entrega das ordens em aberto ou ao tempo total de fabricação dessas ordens.

• *Determinação do Tamanho de Lotes e Consideração sobre Custos de Preparação*

Para se produzir uma dada quantidade de peças iguais, estas são agrupadas em um ou mais lotes de produção. A produção de lotes grandes reduz o número de preparações de máquina durante um período de programação, enquanto que lotes pequenos reduzem o estoque em processo e aumentam as opções de programação. O tamanho mínimo de um lote de produção é normalmente definido a partir de decisões gerenciais baseadas no tipo de peça, na tecnologia e nos recursos envolvidos na produção. O tamanho máximo do lote é normalmente definido em função de critérios de desempenho e do volume total de trabalho a ser realizado.

Os sistemas de programação mais gerais e flexíveis deveriam determinar dinamicamente os tamanhos de lote, como função das restrições e dos objetivos da programação de produção. Bem como

representar as preparações de máquina e levar em conta as situações onde a preparação da máquina, em termos de tempos e custos, é dependente da sequência em que as ordens são produzidas.

- *Roteiro de Fabricação*

No problema clássico de programação da produção, cada ordem de produção é processada em uma máquina somente uma vez. Normalmente, uma dada operação de fabricação pode ser realizada em várias máquinas. Essas máquinas podem ser idênticas, formando um grupo de máquinas, com o mesmo tempo de processo para uma dada operação. Por outro lado, podem haver diferenças entre as máquinas ocasionando diferenças nos tempos de processo, ou até mesmo nas características do processo e nas necessidades de recursos. Em um grupo de máquinas, essas diferenças têm origem, por exemplo, na existência de máquinas antigas e modernas, manuais e automatizadas ou universais e especiais. Conseqüentemente, o roteiro de fabricação pode mudar, dependendo da escolha da máquina. A melhor solução seria um sistema de uso geral, altamente flexível, que contemplasse os vários tipos de roteiro de fabricação.

- *Eventos Aleatórios e Perturbações*

Na abordagem clássica do problema de programação da produção os tempos de fabricação, os horários de disponibilidade de ordens e as datas de entrega são grandezas determinísticas. Além disso, as ordens de produção, as máquinas, os operadores e os materiais estão sempre disponíveis. Esta conjunção de fatores está longe de ser sempre verdade num ambiente de produção. Um sistema de programação de uso geral deveria ser capaz de representar um ambiente de produção estocástico, ou seja, um ambiente onde ocorrem eventos aleatórios como por exemplo: ordens de produção urgentes, quebra de máquinas, ausência de operadores e falta de material, assim como variações nos tempos de processamento dos lotes, no instante de disponibilidade das ordens de produção e nas datas de entrega [Gershwin et alli, 1986].

- *Crítérios de Desempenho e Múltiplos Objetivos*

Na abordagem clássica do problema de programação da produção, normalmente, é adotado um critério único de otimização como a minimização dos atrasos ou do tempo total de produção. Tal tipo de critério tende, implicitamente, a maximizar a utilização dos equipamentos no horizonte de planejamento.

Num ambiente de produção, os objetivos ou os critérios de desempenho são, na realidade, múltiplos, muitas vezes conflitantes entre si, e algumas vezes não mensuráveis.

Enquanto a administração, geralmente, procura minimizar os custos e maximizar a utilização dos equipamentos de grande valor, a programação da produção contempla objetivos que buscam melhorar a operação da fábrica. Entre estes objetivos estão a redução do estoque em processo, a minimização dos atrasos em relação as datas de entrega e o aumento da estabilidade do programa de produção. Estes últimos podem implicar numa subutilização deliberada do equipamento, de modo a reduzir os estoques ou as filas (estoque em processo) ou a garantir a confiabilidade do programa de produção. Um sistema de programação de produção de uso geral deveria contemplar e estabelecer um compromisso entre estes vários critérios de desempenho.

As ferramentas de programação da produção têm sido capazes de capturar somente as características mais importantes de um ambiente de produção, ignorando inteiramente as menos importantes e tratando as de importância intermediária de uma forma agregada. Em sua maioria os paradigmas considerados na sessão seguinte tratam somente de um subconjunto desses atributos.

2.3. Abordagens de Programação da Produção

2.3.1. Práticas Industriais

A programação da produção em sistemas de manufatura discreta é reconhecidamente uma atividade desenvolvida por planejadores experientes. Apesar de mais recentemente ter aparecido um grande número de sistemas de base de dados industriais e sistemas para automatizar a programação da produção, seu sucesso é relativo quando se considera a base instalada e, dentro desta, o nível de utilização dos diversos módulos dos sistemas [Sacomano, 1990]. O conhecimento e a intuição adquiridos através de anos de experiência ainda são as principais ferramentas dos planejadores de produção na geração e manutenção das programações de produção.

As principais empresas fornecedoras de sistemas desenvolveram sistemas de base de dados com o objetivo de facilitar o trabalho do planejador e melhorar a qualidade e a consistência das programações de

produção. Os sistemas de base de dados estão voltados para o controle de materiais, estoques e estoque em processo, e num maior ou menor grau incorporam ferramentas que automatizam a programação. Esses sistemas de base de dados são classificados segundo a técnica de programação empregada, entre as quais estão o Planejamento de Recursos de Manufatura (MRP II - *Manufacturing Resource Planning*), o *Just-In-Time* (JIT), e o *Optimized Production Technology* (OPT).

MRP II - Planejamento de Recursos de Manufatura

Os sistemas baseados na filosofia do MRP II são certamente os de maior número de instalações na indústria atualmente. A figura 2.2 apresenta o fluxo lógico de um sistema de MRP II. O MRP II consiste numa abordagem hierarquizada do problema de Planejamento, Programação e Controle da Produção, onde as decisões de planejamento vão sendo adequadas desde o nível estratégico, eliminando progressivamente incógnitas que permaneceriam insolúveis na gestão operacional da produção [Vollmann et alli, 1988]. A estratégia do MRP II é decompor sucessivamente, nos níveis estratégicos, tático e operacional, o planejamento de recursos associados a cada nível. A hierarquia de planejamento permite a integração entre as metas definidas pela alta-direção da empresa, e as tarefas executadas no dia-a-dia pelos níveis inferiores da administração e pela produção.

O núcleo de um sistema de MRP II é o sistema de Planejamento de Necessidades de Materiais (MRP - *Material Requirements Planning*). A técnica do MRP consiste em se determinar:

- quais itens e em que quantidades serão necessários para a produção de um volume pré-definido de produtos; e,
- os instantes de tempo em que as tarefas, para a obtenção de cada um desses itens, devem ser iniciadas de modo a atender as datas de entrega dos produtos.

Como resultado é gerado um plano de compras e um plano de produção.

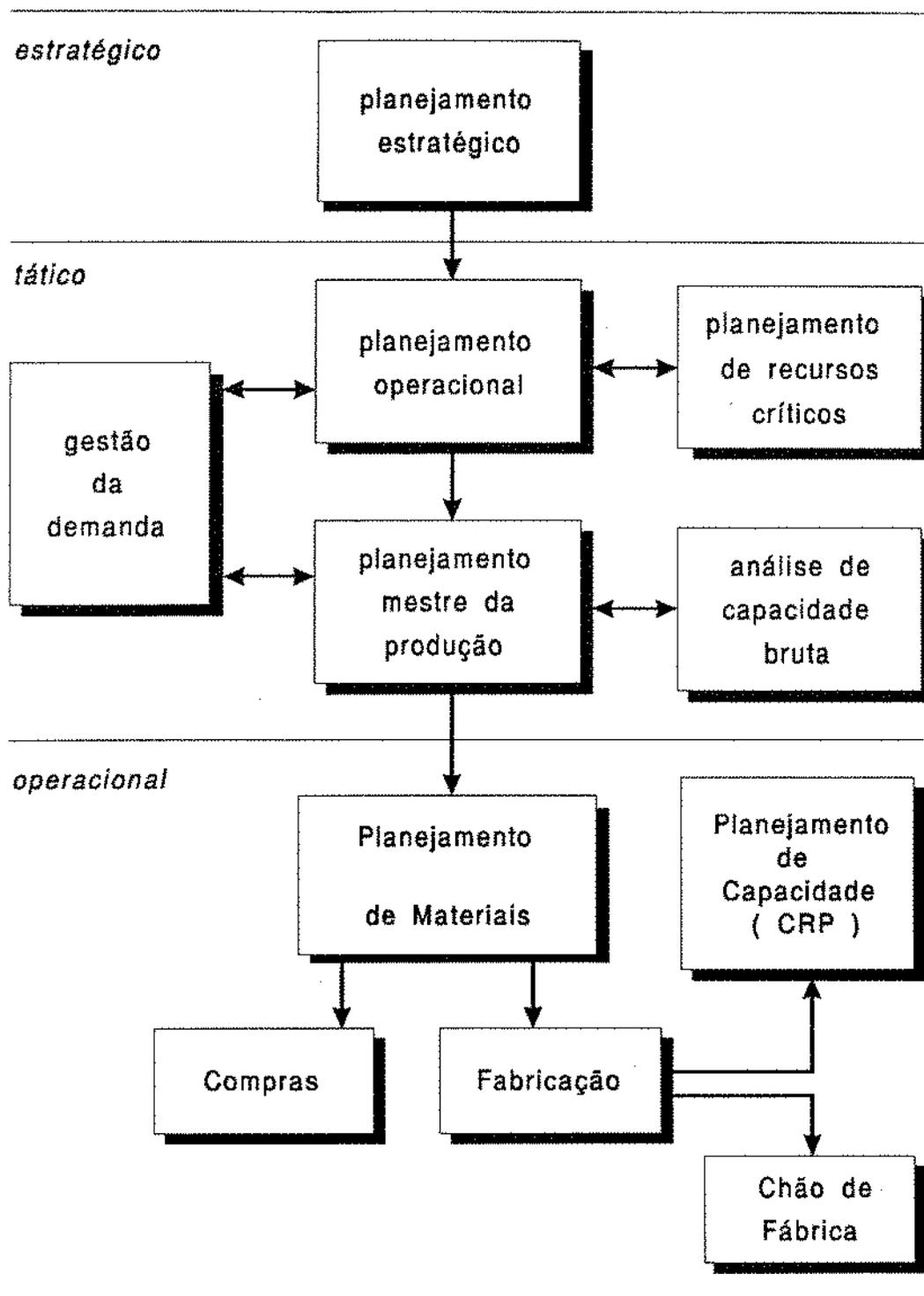


Figura 2.2. O Fluxo Lógico do MRPII

A determinação das necessidades de itens e de suas quantidades correspondentes baseia-se no Cálculo de Necessidades Líquidas (CNL). Por esse procedimento, definida a demanda bruta de um dado item, sua demanda líquida corresponde à demanda bruta abatida das quantidades disponíveis em estoque.

Supre-se a necessidade líquida com o planejamento de uma ordem de produção, que determina a fabricação do item, ou uma ordem de compra, que determina a aquisição do item. À uma ordem de produção planejada de um dado item, correspondente uma demanda bruta do material que o compõe. O CNL é aplicado, recursivamente, nível a nível na estrutura do produto, até a determinação de todas as necessidades líquidas.

A determinação dos instantes de tempo em que as ordens de produção ou compras devem ser iniciadas, é fruto de um procedimento de programação "para trás" (*backward*), a partir da data de entrega dos produtos. Este procedimento utiliza-se da estrutura dos produtos e do conceito de tempo de reposição, que é o tempo total para a execução de uma ordem de produção ou de compra. A partir da data de entrega do produto, calcula-se a data de início da montagem final. Considerando-se que esta data é a data final para a obtenção dos itens que compõe o produto, calcula-se as datas de início das ordens de produção ou compras para esses itens; e assim sucessivamente até a obtenção completa do plano de fabricação e do plano de compras [Proud,1986; Bergman, 1986]. Este procedimento é ilustrado na figura 2.3. Nesta figura um dado produto A, cuja estrutura de produto é mostrada no canto superior esquerdo da figura, deve ser produzido para estar pronto no início do período 5. O procedimento de programação "para trás" é apresentado de uma forma esquemática, sendo gerados um plano de compras e um plano de produção, contendo cada um deles todas as atividades para se concluir o produto na data desejada.

Os sistemas de MRP são bastante detalhados e excelentes para a determinação das necessidades e acompanhamento do fluxo de materiais na fábrica [Buchholz, 1986]. Suas principais limitações estão no fato de, durante a execução do MRP, a capacidade de produção instalada ou disponível ser desconsiderada, gerando programações que podem exceder os 100% de utilização num dado centro de trabalho em um dado período.

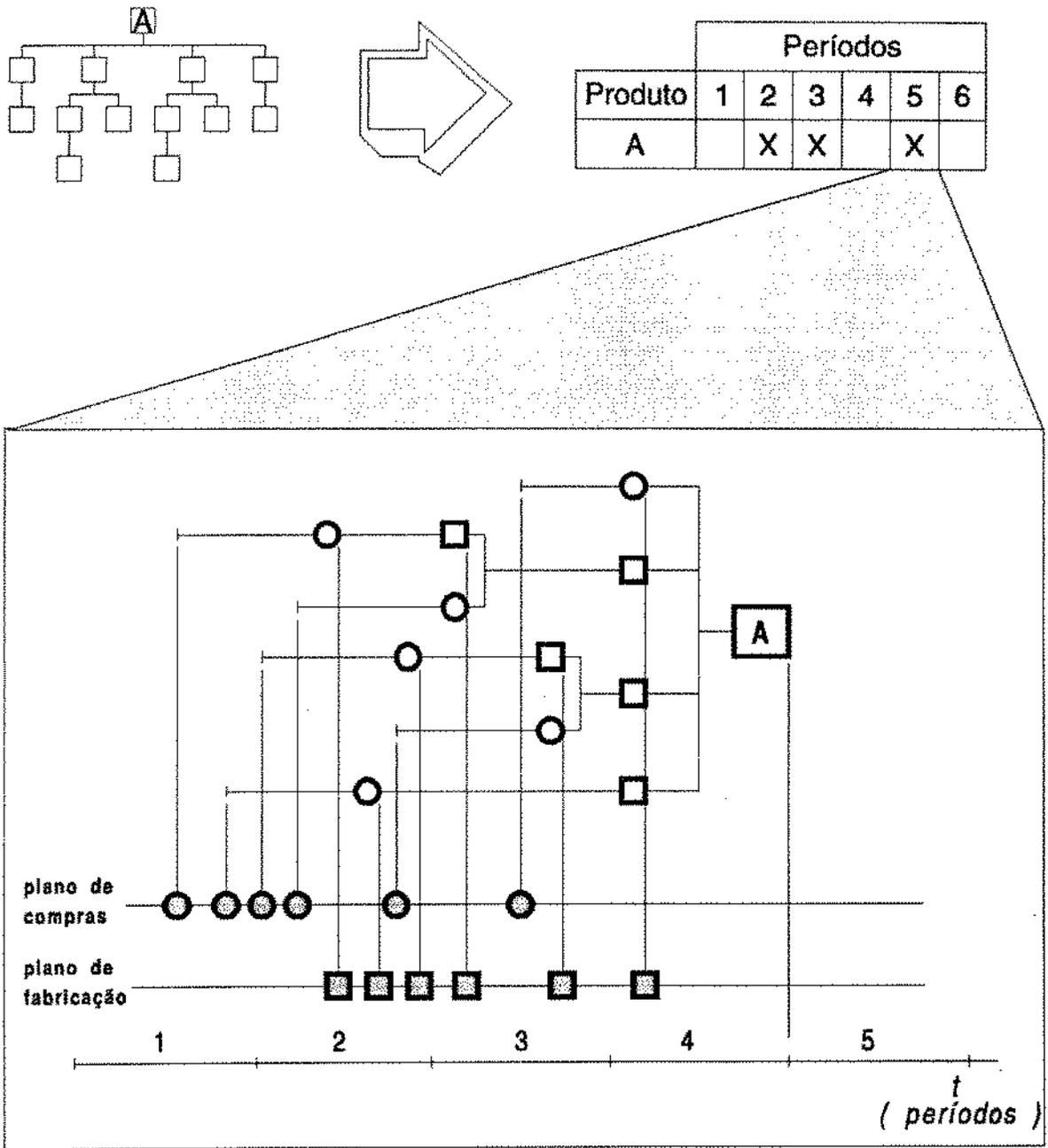


Figura 2.3. A técnica do MRP

Visando suprir esta limitação, após a execução do MRP é feito o Planejamento de Necessidades de Capacidade (CRP - *Capacity Requirements Planning*), quando é analisada a compatibilidade entre o programa de produção definido no MRP e a capacidade produtiva de cada centro de trabalho da indústria [Heber & Klag, 1986]. Nesse processo o CRP programa as operações das ordens de produção usando uma programação com capacidade finita opcionalmente "para frente" ou "para trás", como descrito a seguir:

- Na programação "para frente", considera-se que uma ordem de produção é liberada na data de início da ordem, calculada pelo MRP, e seu progresso através do chão de fábrica é simulado, operação por operação, até a conclusão da ordem. A simulação utiliza os tempos de transporte, preparação e processamento da peça, e a disponibilidade das máquinas. O processo se repete para todas as ordens. Se como resultado, as ordens forem previstas de serem completadas muito antes ou muito depois do planejado, a simulação expõe o fato, mas não toma nenhuma ação corretiva.
- O conceito de programação "para trás" é semelhante, sendo que as ordens são consideradas concluídas em sua data de fim, calculada pelo MRP, e seu progresso através do chão de fábrica é simulado "para trás", operação por operação, até definir um instante de início da ordem. Novamente, se a simulação indicar que as ordens deveriam ser iniciadas muito antes ou muito depois do planejado, a simulação expõe o fato, mas nenhuma ação corretiva é realizada.

A figura 2.4 apresenta os perfis de carga de um centro de trabalho após a execução do MRP (capacidade infinita) e após a execução do CRP (capacidade finita).

Então, quando as datas programadas pelo MRP para conclusão das ordens de produção estão programadas para terminar após a data de fim prevista ou estão com folga, adiantando desnecessariamente uma tarefa, o CRP sugere novas datas, na forma de mensagens de exceção, e o programa de produção deve ser reajustado manualmente. O CRP não é, portanto, um sistema adequado para sistemas de produção dinâmicos, onde variações de demanda geram necessidades de balanceamento no uso da capacidade produtiva, que impliquem em freqüentes replanejamentos à nível do MRP, mas permanece sendo uma ferramenta válida de diagnóstico.

Pelo fato do MRPII ser um sistema corporativo e envolver em sua execução diversos setores da empresa como: marketing, vendas, produção, suprimentos, estoques, custos, PCP, entre outros, o sucesso de sua implementação depende não só de sua lógica de programação, mas de uma série de fatores gerenciais [Roberts & Barrar, 1992]. Bowman [1991] define os dez mandamentos da implantação de um projeto MRPII, entre os quais pode-se salientar:

- o comprometimento da alta administração com o sistema;
- a acuracidade dos dados;
- a definição de objetivos parciais e medições de desempenho;

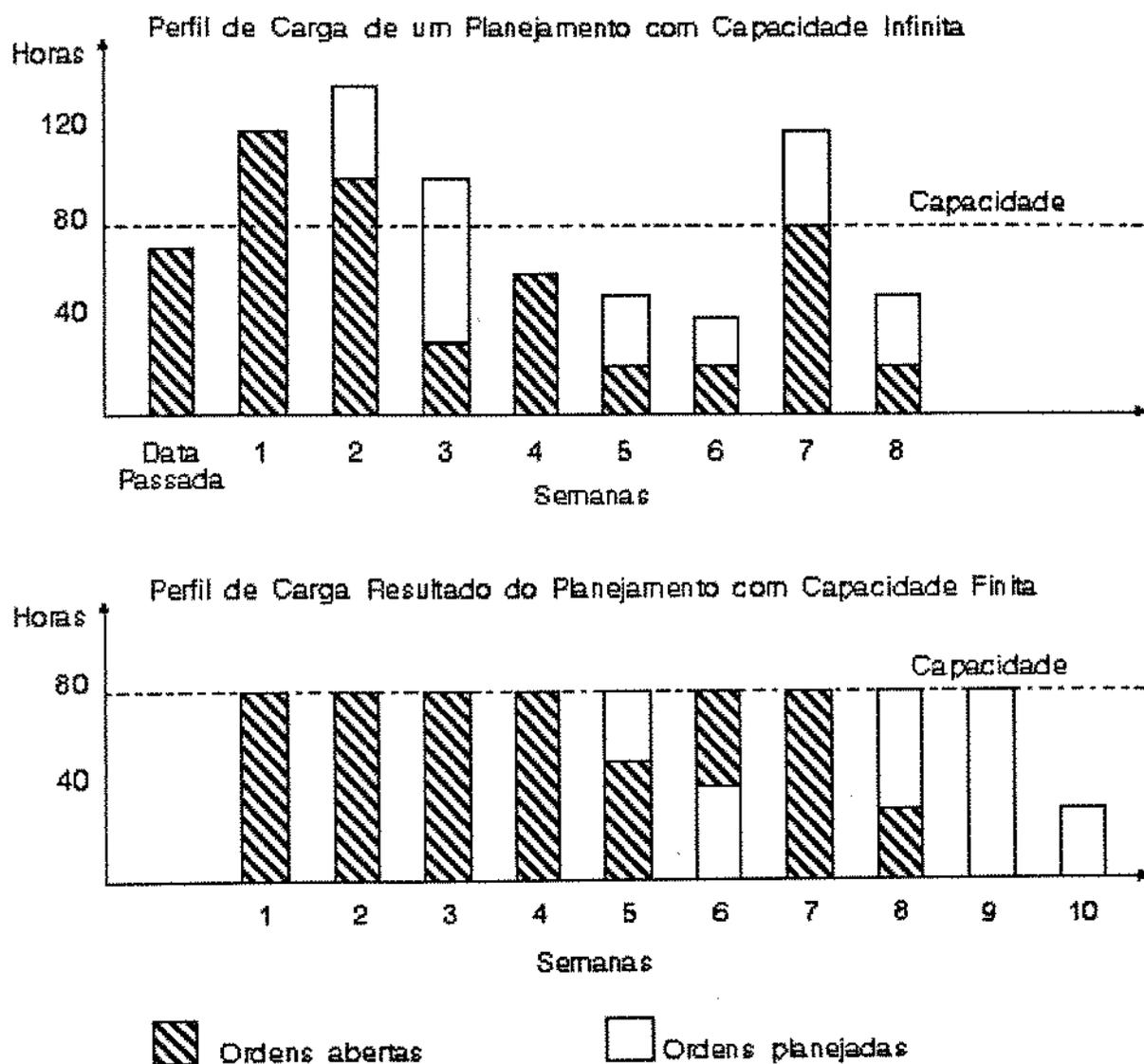


Figura 2.4. Gráficos de Perfil de Carga considerando Capacidade Infinita e Finita

- não economizar em treinamento;
- não alocar no projeto MRP/II pessoas que tenham tempo mas não tenham experiência .

JIT - Just-In-Time

O JIT é uma filosofia de produção que está baseada em dois princípios fundamentais: o melhoramento contínuo e a eliminação de desperdícios. O ambiente de produção que mais se adapta a filosofia JIT é aquele onde existe uma grande ênfase na qualidade e no alto grau de envolvimento dos funcionários. A filosofia do melhoramento contínuo implica que o JIT é um processo, e a melhoria contínua um "modo de vida" [Gottesman, 1991].

A eliminação dos desperdícios significa minimizar todas as atividades que não agregam valor ao produto, ou seja, que agregam custos, como por exemplo: estoques, retrabalho, inspeção, movimentação de materiais, e refugos. A nível de chão de fábrica as ferramentas para reduzir os desperdícios incluem a organização dos postos de trabalho, a redução dos tempos de preparação, manutenção preventiva, células de manufatura, operadores multifuncionais, e um sistema de "puxar" para programar a produção (*KANBAN*).

O benefício óbvio de um sistema de produção Just-In-Time são os baixos custos de capital, associados a uma política de inventário baixo tanto em termos de estoque de produtos acabados, como também, de matérias primas, itens intermediários e estoque em processo. Uma série de outros objetivos podem ser detectados, como a melhoria do fluxo de materiais, a redução no tempo de passagem, redução dos tempos de preparação, a facilidade de controle do chão de fábrica, a simplificação do planeamento de produção e materiais [Rao & Sheraga, 1987], a melhoria da qualidade com a rápida detecção dos defeitos e o isolamento do problema, a redução nas perdas e retrabalho, redução do espaço da fábrica, entre outros [Sandras, 1989].

O sucesso de um sistema JIT está associado a fornecedores confiáveis, pressupondo-se uma parceria cliente-fornecedor, uma força de trabalho treinada e motivada, e um sistema de manutenção adequado, na medida em que os estoques intermediários foram reduzidos ou eliminados.

OPT - Optimized Production Technology

O OPT é um sistema proprietário, da empresa SCHEDULING TECHNOLOGY GROUP, que mais recentemente tem gerado um interesse considerável como ferramenta de Planeamento e Programação de Produção. O OPT pode ser visto como um sistema de MRP completo, na medida em que este realiza a programação de produção e materiais, simultaneamente [Goldratt & Fox, 1989].

A estratégia de programação do OPT é descrita a seguir de uma forma resumida. Inicialmente, um módulo do sistema denominado SERVE, usa uma lógica de programação similar ao MRP, e executa uma programação "para trás", a partir da data de entrega dos produtos. Durante a execução do SERVE a capacidade de produção é considerada infinita; e ele não usa o conceito de tempo de reposição fixo do MRP, simulando "para trás" o progresso da ordem de produção a partir de sua data de fim, considerando

os tempos de preparação, processamento e transporte. O objetivo deste módulo é identificar os recursos de produção críticos (gargalos), cuja utilização esteja próxima ou acima de 100%. Reconhecido(s) o(s) gargalo(s), em seguida realiza-se uma operação denominada SPLIT, que separa a fábrica em duas redes de operações: a rede OPT, formada das operações que se utilizam dos recursos gargalos além das demais operações posteriores; e, a rede SERVE, formada das operações precedentes à(s) operação(s) crítica(s), como mostrado na figura 2.5. A programação prevê, para os pontos de fronteira entre as redes, um estoque de segurança, de modo que a operação crítica tenha sempre um pulmão para absorver variações na chegada de material.

A etapa seguinte consiste na programação da rede OPT, pelo módulo do sistema denominado OPT, que faz uso de um procedimento de programação "para frente" e considerando finita a capacidade de produção. A lógica do procedimento heurístico usado neste módulo tem sido mantida em segredo pela empresa proprietária do sistema. O OPT incorpora um conjunto de princípios interessantes entre os quais pode-se citar o conceito de lote de transferência, que é o menor lote de uma peça que é possível de se transportar do ponto de vista administrativo, de movimentação de materiais e de acompanhamento. Quando um lote de transferência é executado numa operação, pode ser imediatamente enviado para a operação seguinte, permitindo uma sobreposição entre operações. Os lotes de transferência podem, também, ser executados consecutivamente, reduzindo-se os tempos de preparação.

Finalmente a rede SERVE, que contém as operações não críticas, é programada pelo módulo SERVE, usando-se um procedimento de programação "para trás" e considerando-se a capacidade infinita. Neste estágio as datas de entrega das ordens de produção correspondem às datas de programação determinadas pelo módulo OPT. A programação é, então, realizada de modo que o material esteja disponível para atender a primeira operação da parte crítica da produção.

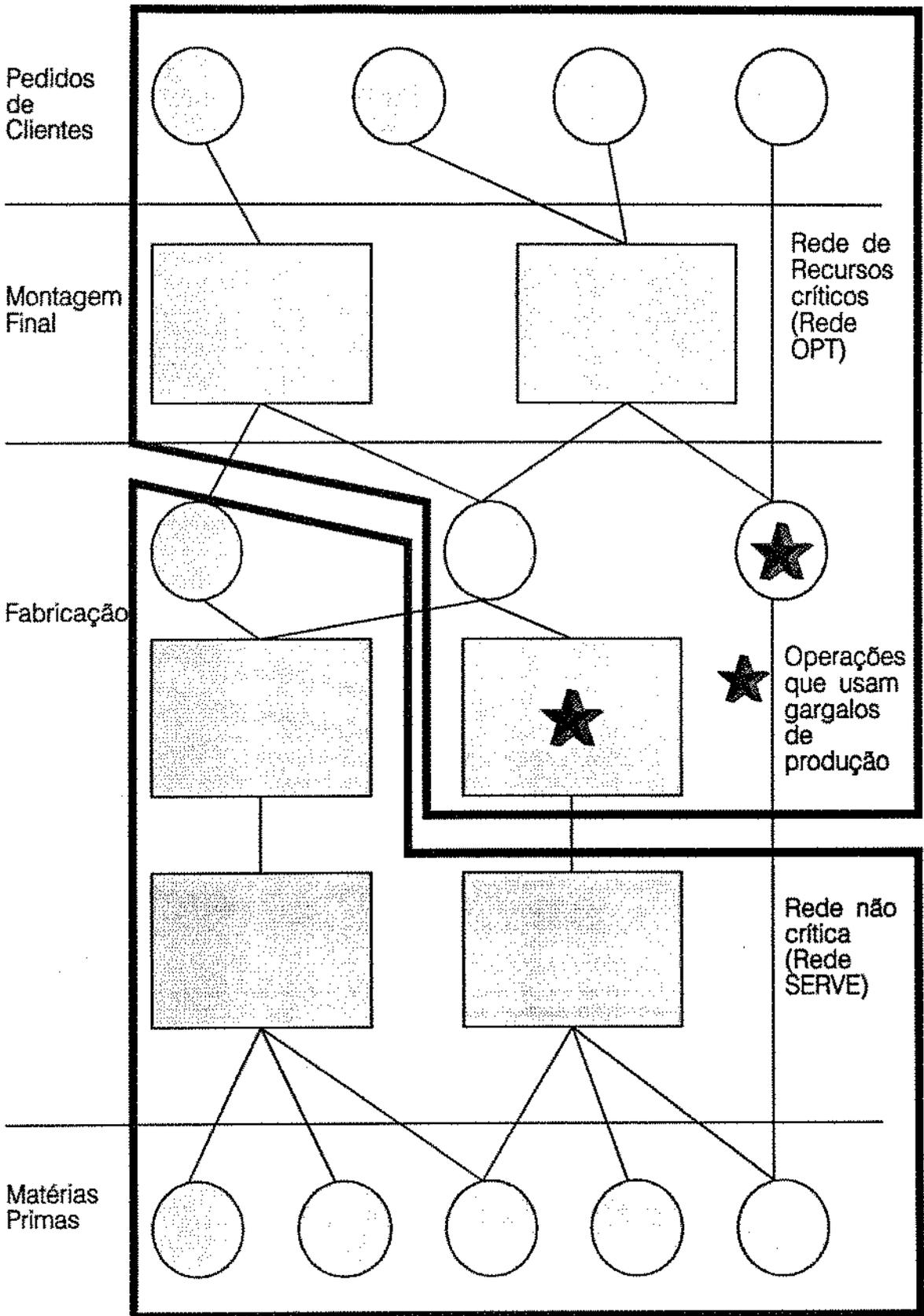


Figura 2.5. Esquema de divisão das redes do OPT

Configurado para programar a produção, o sistema OPT trabalha sem definir intervalos de tempo. Adicionalmente, o sistema permite que os dados possam ser agregados em intervalos de tempo de semanas ou meses, de modo a permitir um planejamento de produção de médio e longo prazo. Em relação aos resultados obtidos, por enquanto ainda não houve uma comparação completa das programações geradas pelo OPT em relação àquelas produzidas usando uma lógica convencional de programação da produção. No entanto, os clientes OPT estão de uma forma geral satisfeitos quanto a qualidade dos programas de produção [Jacobs, 1984].

Uma primeira desvantagem do sistema OPT é sua condição de sistema proprietário, sendo altos os custos da licença e manutenção do sistema. Uma segunda desvantagem é o fato do OPT requerer tempos computacionais significativos para a geração do programa de produção. O OPT gera um programa de produção sem nenhuma folga e preciso, sendo absolutamente crítico que o programa estabelecido seja cumprido à risca. Finalmente, os dados a partir dos quais a programação é gerada devem ter alta acuracidade, caso contrário o sistema simplesmente não funciona.

Apesar das práticas industriais terem sido apresentadas separadamente, o JIT tem sido reconhecido como o próximo passo para as empresas que implementaram o MRPII, e que possuem uma demanda estável, seja para produtos, seja para uma parte dos subconjuntos ou peças. Muitas das empresas americanas que foram bem sucedidas na implantação de conceitos de JIT tinham implantado, anteriormente, o MRPII de uma forma bem sucedida [Bermudez, 1991]. Os ambientes com soluções híbridas JIT/MRPII combinam a capacidade de planejamento do MRPII à capacidade de execução do JIT [Rao & Scheraga, 1987].

2.3.2. Teoria de Programação e Sequenciamento

O problema formal de programação de produção ou programação de máquinas tem sido amplamente estudado nas últimas décadas [Conway et alli, 1967; Baker, 1974]. O problema pode ser definido da seguinte forma: N tarefas devem ser realizadas em M máquinas. Cada tarefa consiste de um conjunto operações, onde cada operação está associada a uma única máquina das M existentes. O tempo de processamento de uma tarefa não pode ser dividido. Restrições tecnológicas determinam que a sequência de operações de uma dada tarefa seja realizada numa ordem específica. O problema de programação consiste em se determinar a sequência e os instantes de início e fim de operação em cada máquina, de forma que um dado número de critérios de desempenho sejam maximizados ou minimizados. Para solucionar o problema existem $(N!)^M$ maneiras possíveis de se sequenciar as tarefas.

Como descrito acima, os roteiros de fabricação são distintos para cada peça podendo gerar um roteamento bastante complexo, como ilustrado na figura 2.6. Por exemplo, após ser processada no centro A, a tarefa pode sofrer um processamento posterior nos centros de trabalho B, D ou F; ou, ser enviada diretamente para o estoque de produtos acabados.

O problema de programação de produção teórico é de um formalismo matemático extremamente simplificado quando comparado com os problemas de programação de produção encontrados na prática. No entanto, este problema tem interesse, porque captura a complexidade computacional central do problema de sequenciamento de tarefas em máquinas, separando aspectos não importantes do ponto de vista teórico. A solução do problema de programação de produção genérico tem ficado restrita a problemas que envolvam não mais do que algumas tarefas e algumas máquinas, pois o tempo computacional necessário para se encontrar a solução ótima, cresce exponencialmente com o tamanho do problema. O problema de programação padrão de dez tarefas e dez máquinas só recentemente foi resolvido, necessitando de cinco horas de processamento em um computador Prime 2665. Para problemas de porte maior que um tamanho relativamente modesto, não são encontradas soluções ótimas de uma forma genérica, mesmo em computadores que excedam a capacidade dos modernos supercomputadores [Rodammer & White, 1988].

Do ponto de vista prático, uma vantagem clara de se trabalhar com o problema de sequenciamento de máquinas foi demonstrar a necessidade de se trabalhar com abordagens heurísticas (não otimização) em problemas de programação para sistemas em aplicações industriais. Foram, então, desenvolvidas um grande número de heurísticas de um único estágio, denominadas regras de despacho ou regras de prioridade, a serem aplicadas às filas associadas a cada máquina. As regras de despacho selecionam a próxima tarefa a ser processada baseando-se em dados referentes a ordens de produção, operações ou máquinas. A partir desses dados, um valor é atribuído a cada tarefa da fila de espera de uma máquina e a tarefa com o mínimo valor é selecionada para ser processada.

Como, em geral, não é possível obter-se a solução ótima, coloca-se a questão de se saber qual regra de despacho irá atingir um bom desempenho em relação a alguns critérios de desempenho. Um número grande de regras de despacho surgiram na literatura e na prática. A seguir são descritas algumas das mais conhecidas:

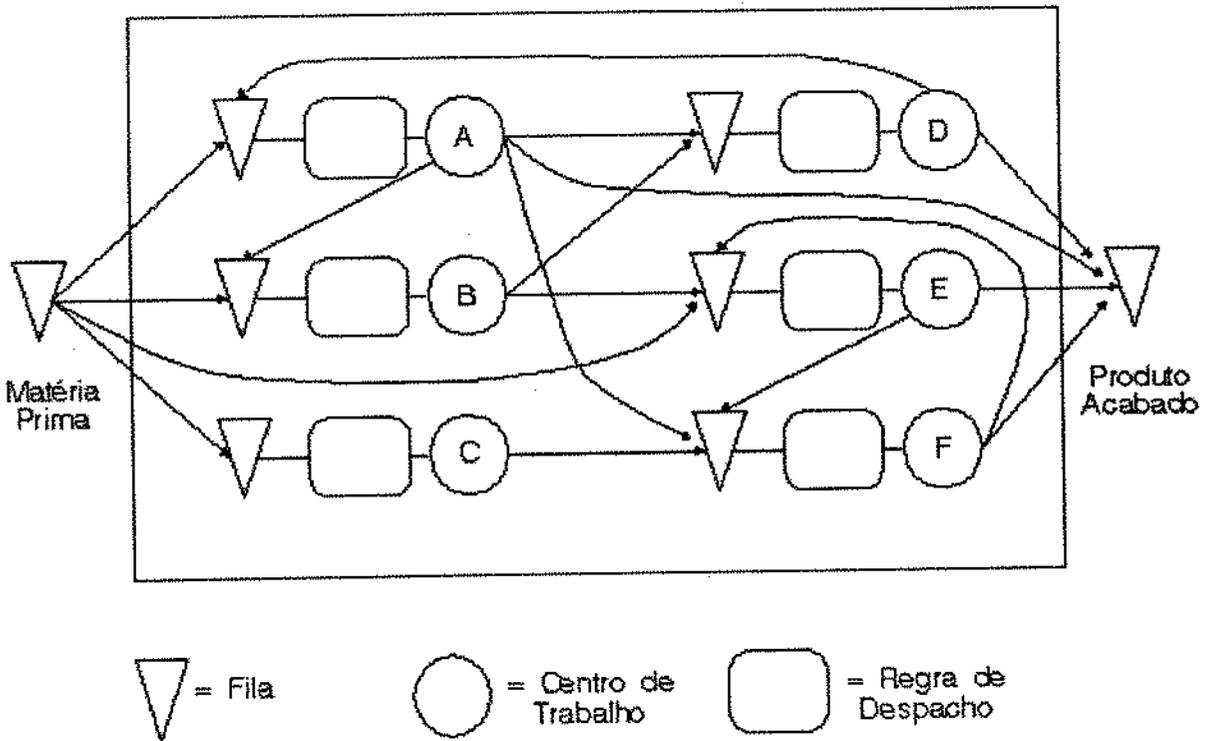


Figura 2.6. Ambiente de programação da produção

R (Aleatória) - Seleciona qualquer tarefa na fila com igual probabilidade. Esta regra é comumente usada como comparação com outras regras;

FCFS (Primeira a chegar/primeira a ser processada) - As tarefas são processadas na ordem de chegada ao centro de trabalho;

SPT (Menor tempo de processamento) - As tarefas são processadas na ordem crescente de tempo de processamento. Esta regra tende a reduzir o número de tarefas na fila, o tempo total médio de processamento das tarefas e o atraso médio;

EDD (Data de entrega mais próxima) - Esta regra procura reduzir os atrasos;

CR (Taxa crítica) - Esta regra é bastante usada na prática. O índice de prioridade é calculado da seguinte forma: $(\text{data de entrega} - \text{data atual}) / (\text{tempo total restante})$;

LWR (Menor trabalho restante) - Esta regra é uma extensão da regra SPT, na medida em que considera todos os tempos de processamento restantes, até que a ordem esteja terminada;

FOR (Menor número de operações restantes) - Outra variação da regra SPT que considera o menor número de operações restantes;

ST (Tempo restante) - Esta regra é uma variação da regra EDD, onde são subtraídos do tempo total, até a data de entrega, os tempos de preparação e os tempos de processamento. O valor resultante é denominado tempo restante, e as tarefas são executadas em ordem de menor quantidade de tempo restante;

ST/O (Tempo restante por operação) - Esta regra é uma variação da regra ST, onde o valor do tempo restante é dividido pelo número de operações restantes, e as tarefas com menor valor calculado são executadas primeiro;

NQ (Próxima fila) - Um tipo de regra diferente, baseada no grau de utilização das máquinas. A ideia é considerar a fila de todos os centros de trabalho subsequentes para os quais as tarefas serão encaminhadas, e selecionar a tarefa a ser executada que irá para a menor fila (medida em horas ou em número de tarefas);

LSU (Menor tempo de preparação) - Nesta regra as tarefas são ordenadas por ordem crescente de tempo de preparação, e selecionada aquela tarefa que propicia o menor tempo de preparação. Dessa forma a

utilização da capacidade de máquina é maximizada. Neste tipo de regra é explicitamente reconhecida a dependência entre os tempos de preparação e a sequência das tarefas.

Algumas dessas regras foram obtidas de trabalhos pioneiros como Conway [1965a; 1965b]. Outras são citadas em artigos que resumem e avaliam as regras de despacho como Panwalker & Iskander [1977], Balckstone et alli [1982] e Huang [1984]. Não se pretende fazer uma análise exaustiva das regras de despacho. Existem muitas outras regras de despacho, variantes das regras citadas acima e, também, combinações dessas regras tem sido estudadas. Em alguns casos, uma regra é aplicada sob certas condições e outra regra é aplicada sob outras condições. Além disso, a combinação de regras pode-se dar, por exemplo, com um centro de trabalho gargalo sendo utilizada uma regra SPT e uma regra do tipo EDD para centros de produção subseqüentes não-gargalos.

Um outro ponto a ser considerado na escolha das regras é o seu custo de uso. As regras do tipo aleatória *R* (*Aleatória*), *FCFS* (*Primeira a chegar/primeira a ser processada*), *SPT* (*Menor tempo de processamento*), *EDD* (*Data de entrega mais próxima*) e *FOR* (*Menor número de operações restantes*), são facilmente implementadas, na medida em que não necessitam de outras informações além daquelas relacionadas com a tarefa ou ordem de produção. Outras regras, como *CR* (*Taxa crítica*), *LWR* (*Menor trabalho restante*), *ST* (*Tempo restante*) e *ST/O* (*Tempo restante por operação*), requerem informações de maior complexidade, além de cálculos com escalas de tempo. As regras do tipo *NQ* (*Próxima fila*) e *LSU* (*Menor tempo de preparação*) necessitam de ainda mais informações, envolvendo o estoque em processo existente nos centros de trabalho, ou uma matriz de tempos (custos) de preparação de máquina para todas as tarefas atualmente no centro de trabalho.

Muitos trabalhos foram realizados no sentido de se comparar o desempenho das diferentes regras de despacho. O resultado das simulações demonstraram o bom desempenho da regra SPT, analisado segundo vários critérios. A primeira vista, parece uma atitude incoerente ignorar as datas de entrega das ordens de produção a serem sequenciadas. Mas, a favor do uso da regra SPT estão a redução dos tempos totais de fabricação e a redução dos estoques em processo, além da facilidade de implementação.

De modo a sanar essa fraqueza em relação as datas de entrega, soluções híbridas podem ser adotadas. Vollmann et alli [1988] descrevem, como exemplo, uma solução desenvolvida na empresa Twin Disk, onde as ordens de produção são divididas entre PO (ordens com pedidos colocados) e PI (ordens

produzidas para estoque). Uma outra regra de sequenciamento híbrida determina primeiramente a execução das ordens com taxas críticas menores que 1.0, na ordem crescente de seus respectivos valores; para depois executar as ordens restantes por SPT. Muitas outras regras de sequenciamento mais complicadas foram desenvolvidas, geralmente construídas a partir de regras mais simples, combinando regras de despacho e procedimentos heurísticos, envolvendo aspectos qualitativos da inteligência humana [Park et alli, 1984; Liu & MacCarthy, 1991]. Panwalker & Iskander [1977] já haviam catalogado 113 regras de sequenciamento.

Os trabalhos no problema de programação de produção proveram, também, uma boa fonte de informações sobre estratégias de solução e algoritmos de otimização que exploram as regras de despacho. Por exemplo, as técnicas de enumeração parcial que combinam heurísticas e estratégias de busca em vizinhança, mostraram ter um desempenho razoavelmente bom sob várias condições [Spachis & King, 1979; Brandimarte, 1992]. Estas estratégias envolvem o uso de regras de sequenciamento para encontrar uma boa solução inicial, para em seguida alterar essa solução e avaliar a programação resultante. O ciclo de alteração e avaliação é repetido até que não se obtenha mais nenhum progresso relativo.

Apesar das contribuições da teoria da programação e sequenciamento serem significativas, a formulação do problema de programação de produção é muito restrita para prover soluções, que sejam algo mais que sugestões para a programação real da produção. Existe uma necessidade de melhorar os algoritmos de programação e as regras heurísticas; de modelar o problema de uma forma mais realista; e, de um melhor entendimento da dinâmica do ambiente de produção a ser programado [Graves, 1981].

2.3.3. Simulação a Eventos Discretos

Nos últimos anos tem havido um crescimento significativo no uso da simulação em sistemas de manufatura. As principais causas desse crescimento foram:

- O aumento da complexidade dos sistemas de manufatura;
- A redução dos custos dos computadores;
- A melhoria dos sistemas de simulação, que propiciaram a redução no tempo de desenvolvimento dos modelos; e,
- O uso de interfaces gráficas e da animação, que resultaram num melhor entendimento e uso desses sistemas pelos engenheiros responsáveis pelos desenvolvimentos em manufatura [Walde, 1991].

Inicialmente, a simulação a eventos discretos foi utilizada na programação de produção, como uma ferramenta para testar regras de despacho aplicadas isoladamente. Como visto anteriormente, parece haver um consenso em que uma combinação de regras de despacho tem um melhor desempenho, que regras trabalhando individualmente. Face a esse fato, o conceito de uma ferramenta de simulação interativa e flexível pode ser usada para programar sistemas de manufatura. Com o uso de uma ferramenta de simulação, o planejador pode revisar e criticar o status do modelo do chão de fábrica que está sendo dinamicamente apresentado. Ele pode, então, usar o seu conhecimento e sua experiência prática para interromper a execução de uma simulação, interagir com o sistema, e tentar outras formas de abordagem de programação, por exemplo alterando ou combinando regras de despacho.

Na medida em que o processo de simulação provê uma saída de dados dinâmica, o planejador pode identificar longas filas no modelo e tentar eliminar os gargalos de produção que podem dificultar o fluxo de tarefas prioritárias. Além disso, a simulação é projetada de modo a permitir ao usuário a realização de análises baseadas em perguntas do tipo:

- Se variar.../qual será o impacto sobre...

Por exemplo se variar a previsão de vendas, a capacidade ou a política de estoques, qual será o impacto sobre os estoques, a utilização da capacidade ou o atendimento ao cliente?

Uma vantagem da abordagem de simulação na programação é que se pode modelar os efeitos de tais fatores como mudanças de políticas, que não podem ser contabilizadas por um modelo analítico. Uma outra vantagem da simulação a eventos discretos é que ela pode prover o planejador com a oportunidade de realizar testes exploratórios sobre a programação que está em produção [Alting et alli, 1988; Ramsli, 1989; Siggaard & Bilberg, 1992].

O uso de simulação para produzir programações de produção é custoso, tanto em termos de tempo computacional utilizado para gerar a programação, como em relação ao esforço humano necessário para projetar e executar um modelo de simulação [Law & Haider, 1989]. A acuracidade de modelo de simulação está limitada ao julgamento do planejador; e, nem mesmo o uso de modelos de simulação bastante acurados garantem, que as programações de produção geradas experimentalmente sejam soluções ótimas, ou ainda boas soluções [Rodammer & White, 1988].

2.3.4. Técnicas de Inteligência Artificial

As abordagens de Inteligência Artificial (IA), geralmente descrevem o problema de sequenciamento como a determinação e a satisfação de um grande número e uma grande variedade de restrições que podem ser encontradas no domínio do problema de programação. Os métodos de busca de IA empregam regras heurísticas que servem de guia à busca e podem oferecer procedimentos eficientes para se encontrar boas soluções para problemas computacionalmente complexos, como é o caso da programação da produção.

O sistema de programação de produção baseado em IA mais conhecido é o ISIS (*Intelligent Scheduling and Information System*), um sistema protótipo que utiliza um método de raciocínio "dirigido por restrições" para construir a programação [Fox, 1983]. Esse método propõe para a solução do problema as seguintes fases:

- Identificação das restrições que limitam o processo de busca de soluções;
- Classificação das restrições em fortes e fracas;
- Integração das restrições ao processo de busca de soluções;

- No caso de restrições conflitantes, relaxa-se algumas restrições e seleciona-se as alternativas aceitáveis;
- e,
- Faz-se um diagnóstico das soluções para o problema de programação.

Dessa forma o sistema seleciona a sequência de operações necessárias para se executar uma ordem de produção e aloca recursos para cada operação, assim como os instantes de início e fim das operações. O ISIS pode ser utilizado, também, como um assistente inteligente, usando o seu conhecimento para auxiliar o planejador a manter a programação consistente e identificar decisões que levem a não respeitar as restrições. O sistema foi desenvolvido para uma fábrica de usinagem do rotor de turbinas da Westinghouse e o protótipo não foi implantado [Rodammer & White, 1988].

Por outro lado, entre as pesquisas realizadas em programação baseadas em IA, os Sistemas Especialistas (SE) têm sido a ferramenta mais utilizada. Um SE consiste de três componentes básicos:

- Uma base de conhecimento declarativo, onde se armazena todos os dados nos quais o sistema "acredita" num dado instante;
- uma base de conhecimento sobre procedimentos (base de regras), onde se armazena todo o conhecimento sobre a solução do problema na forma de regras; e,
- um mecanismo de inferência, responsável por apagar ou adicionar fatos que o sistema "acredita" e realizar certos procedimentos de inferência. Algumas dessas inferências são realizadas quando fatos concluídos pelo sistema são adicionados ("guiado para frente") ou quando se deseja a dedução de metas ("guiado para trás") [Nilsson, 1980].

Infelizmente, a filosofia de projeto dos Sistemas Especialistas não é suficiente para solucionar os problemas de programação encontrados em ambientes reais de produção. Para uma melhor adequação dos sistemas especialistas à dinâmica dos sistemas de produção, Wu e Winsk [1990] definem um conjunto de novas características para esses sistemas, como:

- uma interface para procedimentos algorítmicos, de modo a propiciar uma integração com modelos analíticos;
- um mecanismo flexível de aquisição de conhecimento, que coleta informações dinâmicas acerca dos fatos que estão ocorrendo no ambiente de produção em tempo real; e,

- um modelo de simulação, de modo a permitir análises do tipo: "Se variar .../qual será o impacto sobre...".

Existem ainda outras dificuldades. Os sistemas especialistas são caros e levam tempo para serem desenvolvidos, tornando proibitivos os custos de seu desenvolvimento para um sistema de produção específico. Acrescenta-se o fato de que os SE para problemas de maior porte podem resultar em desempenhos computacionais bastante baixos [Jackson & Jones, 1987], tornando seu uso igualmente oneroso. Os desenvolvimentos recentes de SE para a programação de produção têm-se concentrado em Sistemas Flexíveis de Manufatura ou em indústrias de processo, onde o número de variáveis que caracterizam a dimensão do problema como o número de máquinas, peças e processos é reduzido, confirmando essa segunda afirmação [Bruno et alli, 1986; Van Brussel & Cortrez, 1990; Artiba & Tahon, 1992; Kusiak e Ahn, 1992].

2.3.5. Avanços Recentes dos Sistemas de Programação de Produção

Nesta sessão são analisados os mais recentes desenvolvimentos em programação de produção, contemplando a liberação de ordens e a programação finita.

Os trabalhos expostos na sessão 2.3.2 sobre teoria de programação e sequenciamento, frequentemente foram vistos como mal sucedidos em suas aplicações práticas, mas isso não é um julgamento justo ou correto quanto as técnicas ali apresentadas. Muito provavelmente a utilização prática desses métodos foi prejudicada pela disponibilidade limitada de recursos computacionais e pela ausência do pré-requisito do MRP e de um sistema de gerenciamento de informações na maioria das empresas. A programação da produção faz pouco sentido em uma empresa onde o planejamento de materiais e o gerenciamento de estoques não estão implantados.

Nos sistemas de MRPII, os sistemas de Planejamento de Requisitos de Capacidade (CRP) são utilizados para analisar as ordens de produção liberadas e planejadas pelo MRP, simulando a progressão das ordens no chão de fábrica. Além das limitações apresentadas no item 2.3.1, as violações de capacidade reveladas por esse procedimento podem, em principio, ser também utilizadas para alterar o Plano Mestre de Produção (MPS), fechando um ciclo de planejamento e programação. No entanto, este

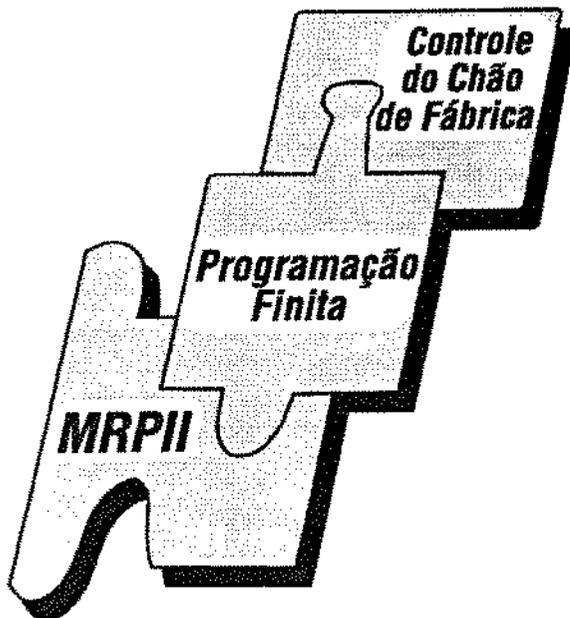
procedimento é no presente feito por tentativa e erro. Em outras palavras, a etapa de fechar o ciclo é realizada fora do sistema.

Além disso, o termo Controle de Chão de Fábrica é usado nos sistemas de MRPII de uma forma incorreta. Este módulo trata os dados que representam os estoques em processo e os centros de trabalho da fábrica, possibilitando o acompanhamento das ordens de produção, amparado por um sistema de consultas e relatórios. Não se caracteriza, no entanto, como um sistema efetivo de controle da capacidade.

Os mais recentes desenvolvimentos em programação de produção contemplam sistemas de programação com capacidade finita, projetados com o objetivo de integrar as funções de controle de chão de fábrica e os sistemas de MRPII, de modo a prove-los com sistemas efetivos de programação e controle do chão de fábrica e com a habilidade de fechar o ciclo. Os módulos de planejamento (MPS e MRP) passam a utilizar parâmetros de tempos de manufatura e tamanhos de lote, consistentes com a capacidade e o carregamento da produção.

2.3.5.1.O Papel da Programação Finita

A programação da produção exerce a função de ponte entre o planejamento de materiais e um controle em tempo-real do chão de fábrica (figura 2.7).



Isto se deve a que o MRP tem excelentes capacidades na gestão de materiais e estoques; e as decisões de planejamento nos níveis estratégico e tático requerem um alto grau de intervenção humana devido aos compromissos que estão fora do contexto do chão de fábrica.

O sistema de programação de produção não está habilitado para tal tipo de decisão. Dessa forma, mantém-se o sistema de programação longe das tarefas de planejamento de materiais. O gerenciamento de dados associados à gestão de

Figura 2.7. O papel da Programação finita

estoques, à manutenção das estruturas de produtos e dos processos de fabricação, permanecem no nível do planejamento de materiais com os sistemas de MRPII. Essa abordagem contrasta com o OPT onde o planejamento de materiais e a programação são combinados de modo a substituir o MRP.

Os sistemas de programação de produção devem, portanto, possuir a habilidade de se interfacear com o sistema de planejamento de materiais. Assim como, com a evolução dos sistemas de automação da manufatura, a importância da programação da produção deve crescer. A fábrica automatizada vai necessitar da tradução dos planos de negócio e planos de materiais em instruções detalhadas que podem ser enviadas ao chão de fábrica, contendo a programação de cada máquina [Lima & Agostinho, 1989].

Requisitos importantes para os modernos sistemas de PCP são:

- Uma modelagem realista do processo de manufatura;
- O monitoramento permanente das ordens de produção e carga de máquina;
- Técnicas de controle por objetivos com um pequeno número de parâmetros;
- Possibilidade do planejador manipular as programações resultantes quando necessário.

2.3.5.2. Revisão/Liberação de Ordens para a Produção

A base desta solução é a revisão das ordens liberadas pelo MRP, que não são mais alocadas diretamente às estações de trabalho, mas são revistas, observando-se o carregamento e a capacidade do sistema produtivo. As ordens liberadas pelo MRP para o chão de fábrica são alocadas em um "pool" de ordens, que é periodicamente acessado, despachando-se as ordens de fabricação que serão efetivamente executadas no chão de fábrica. As políticas de revisão consideram as datas de entrega das tarefas e um limite no carregamento de cada estação de trabalho, ou apenas das estações que são gargalos de produção [Melnik & Ragatz, 1989; Roderick et alli, 1992; Mahmood & Dooley, 1992].

A partir do Modelo de Funil [Wiendahl, 1986; Wiendahl, 1988] são derivados os conceitos utilizados na revisão de ordens de produção. O modelo considera o processo de produção como um sistema de diversos funis, representando os centros de trabalho ou máquinas, interconectados entre si através do fluxo de ordens de produção.

A figura 2.8 ilustra o Modelo de Funil aplicado a um centro de trabalho. No lado esquerdo da figura, o centro de trabalho é representado por um funil de ordens entrando, ordens sendo despachadas e ordens pendentes. No lado direito podem ser vistas as curvas de entrada e saída, representando a quantidade de trabalho, associada as ordens de produção, chegando e sendo realizada. O ponto inicial da curva de entrada é determinado pela quantidade de trabalho pendentes no início do período de referência. Estas curvas descrevem a passagem de ordens através do centro de trabalho; o diagrama é denominado, então, diagrama de passagem.

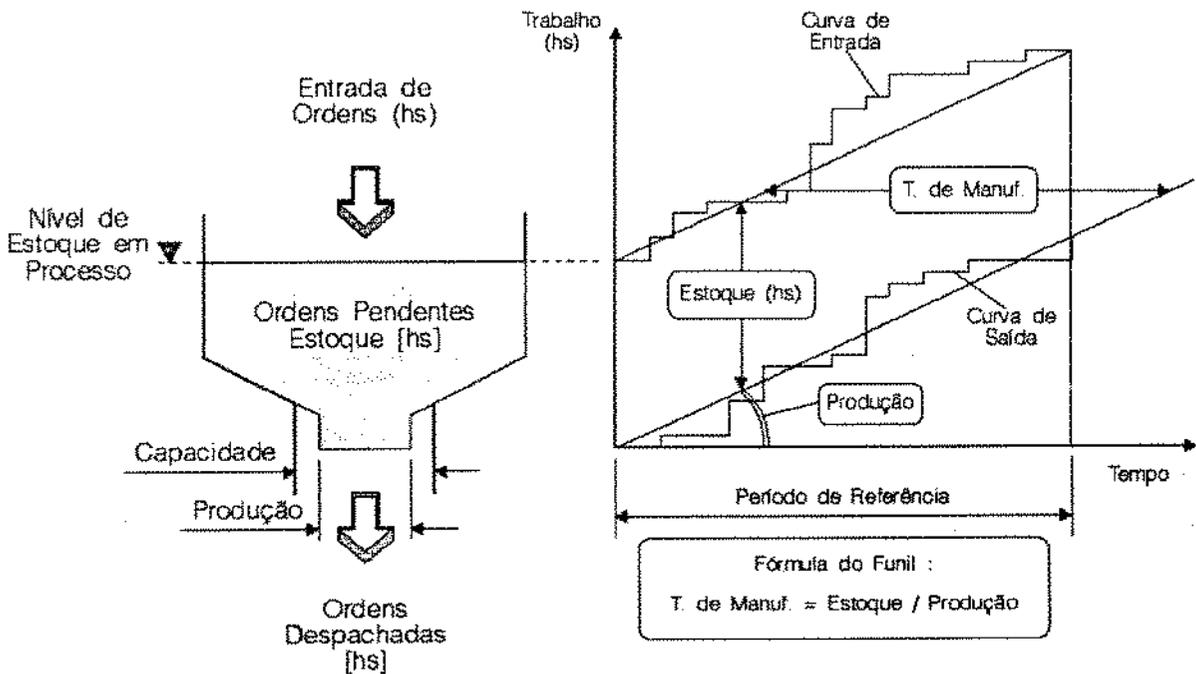


Figura 2.8. O modelo de Funil e Diagrama de Passagem

No diagrama, a distância vertical entre as duas curvas representa o estoque médio, e a distância horizontal o tempo médio de manufatura. A inclinação da curva de saída corresponde à produção média no centro de trabalho. Se as curvas de entrada e saída forem paralelas, a fórmula do Funil pode ser expressa por

$$\text{Tempo médio de manufatura} = \text{Estoque médio} / \text{Produção média.} \quad (2.1)$$

Por exemplo: Para um estoque em processo de ordens de produção pedentes totalizando 40 hs, em termos de trabalho necessário para a execução dessas ordens, e uma produção média diária de 8 hs/dia, aplicando-se a fórmula do funil tem-se:

Tempo médio de manufatura = 40 hs / 8 hs/dia = 5 dias

Através da fórmula do Funil (equação 2.1) pode-se verificar uma relação diretamente proporcional entre o tempo médio de manufatura e o estoque médio em processo. Conseqüentemente, para se manter os tempos médios de manufatura em um nível desejado, o estoque em processo precisa ser ajustado à capacidade produtiva. A Liberação de Ordens de Produção Orientada pela Carga [Bechte, 1988; Wiendahl et alli, 1992] provê o chão de fábrica com novas tarefas, até que um dado nível de estoque em processo desejado para o centro de trabalho gargalo seja atingido. Este método usa a fórmula

do Funil para controlar a entrada de trabalho no sistema e, desse modo, controlar o tempo médio de fabricação através do controle do estoque em processo. A figura 2.9 ilustra os conceitos básicos e os mecanismos de controle.

Com o auxílio do planejamento de capacidades, a capacidade dos centros de trabalho é ajustada ao nível compatível com as ordens planejadas (funil superior). Em seguida, como um primeiro passo para a liberação de ordens, as ordens urgentes são separadas, através da definição de um horizonte de análise, e seguem para estoque de ordens urgentes. Num segundo passo, as ordens são periodicamente liberadas para a produção, até que se atinja o nível de estoque em processo desejado. Para atingir esse

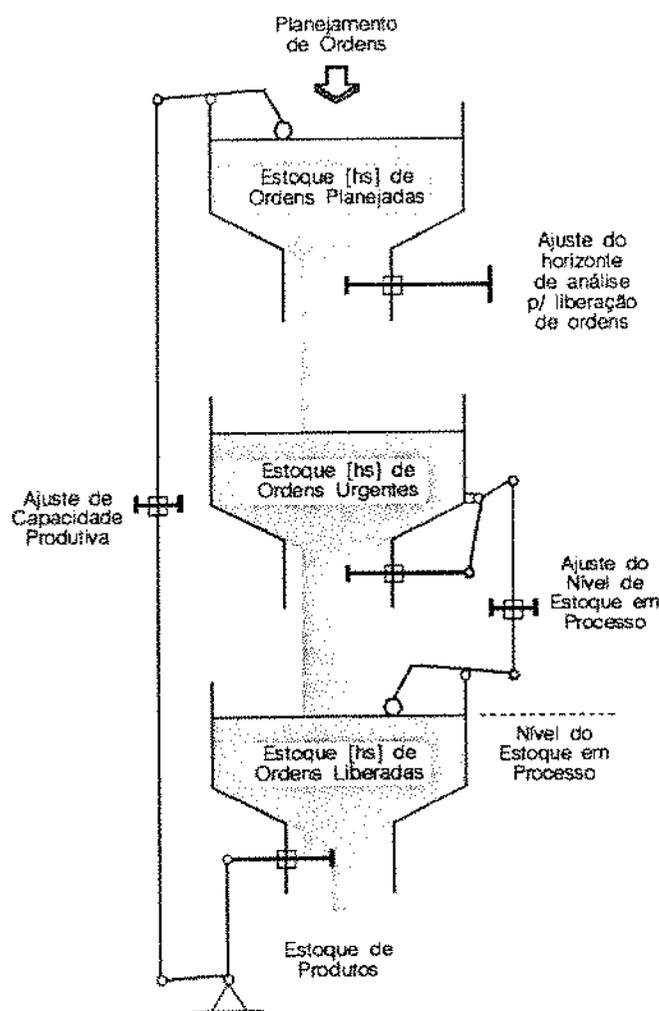


Figura 2.9. Revisão/Liberação de Ordens de Produção

objetivo, o sistema considera o estoque em processo atual nos centros de trabalho.

Pelo controle da carga no sistema é possível se ajustar o nível de estoque em processo, o que reduz consideravelmente os tempos de manufatura e sua variabilidade. Conseqüentemente o tempo de

fabricação pode ser estabelecido a priori, em um valor que garante a realização das ordens com um grande grau de certeza. O resultado é um controle da variabilidade da produção, traduzindo um programa mestre mais realista, a redução do congestionamento do chão de fábrica, menor estoque de materiais em processo, e um melhor desempenho nos prazos de entrega [Souza et alli, 1992].

2.3.5.3. Arquitetura dos sistemas de Programação Finita

A figura 2.10 apresenta uma arquitetura típica de um sistema de Programação Finita composto

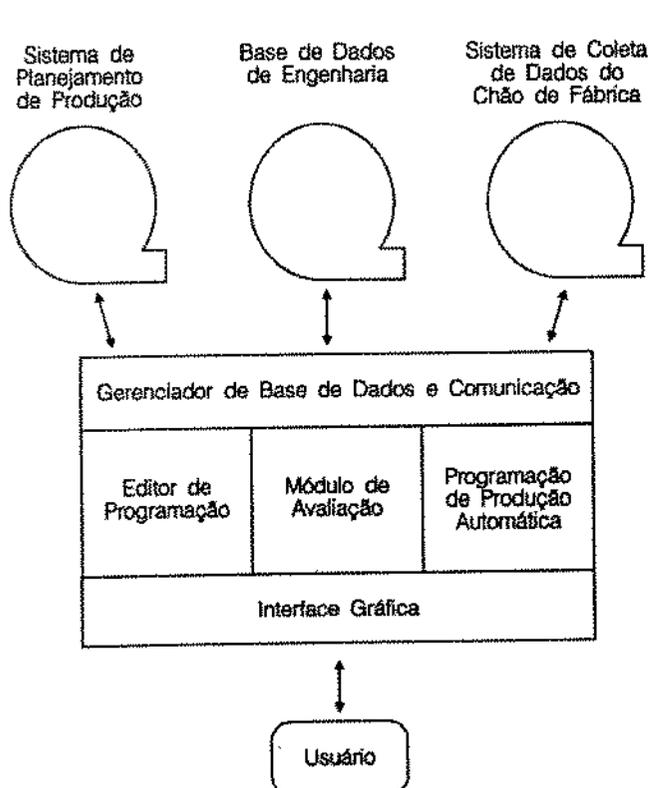


Figura 2.10. Arquitetura de um sistema de Programação Finita

dos seguintes módulos [Kanet & Sridharam, 1990]:

- Interface Gráfica: Provê uma representação gráfica da programação dos recursos (gráficos de Gantt);
 - Editor de Programação: Assiste o planejador na tarefa de manipular ou alterar as programações;
 - Módulo de avaliação: Auxilia na tarefa de medir e analisar as características de desempenho de uma programação;
 - Programação de Produção Automática: Gera automaticamente programas de produção e auxilia o planejador na edição de programações complexas.
- Gerenciador de Base de Dados e Comunicações: Faz o gerenciamento da base de dados do sistema e as comunicações com outros sistemas ou bases de dados.

No módulo de programação automática, o planejador primeiramente interage com o sistema de modo a selecionar um critério de desempenho para a programação, como por exemplo minimizar o atraso total, minimizar o tempo de fluxo, ou maximizar a utilização de recursos. Obtido um programa de

produção, pode-se realizar um processo de otimização de modo a melhorar a solução encontrada. O sistema conduz um procedimento de busca através de uma estratégia de troca de operações vizinhas, em ciclos de alteração e avaliação do programa, dentro de um número de iterações definido pelo usuário.

Em relação ao gerenciador de base de dados dos sistemas de programação finita, a tendência aderente aos objetivos dos sistemas abertos é o uso de gerenciadores de base de dados externos ao sistema. Um desses sistemas, o CIM-Leitstand, comercializado pela AHP Havermann & Parter já possui a possibilidade de utilizar o gerenciador de base de dados ORACLE [Adelsberger & Kanet, 1991]. Essa solução é partilhada pela tendência de evolução dos sistemas de MRPII para o ERP (Enterprise Resource Planning), onde uma das características previstas para o novo ambiente, numa arquitetura Cliente/Servidor, é o suporte à base de dados de múltiplos fornecedores [Wylie, 1992; Kilmer, 1992].

2.3.5.4. Modelagem dos Sistemas e Capabilidades de Tomada de Decisão

Uma série de novos requisitos tiveram de ser introduzidos nos sistemas de programação finita de modo a enriquecer a modelagem dos ambientes de produção e propiciar uma melhor programação. Abaixo seguem alguns itens que os diferenciam dos módulos tradicionais de controle de chão de fábrica, alguns dos quais só foram implementados em sistemas protótipos [Dobson et alli, 1992]:

- Folhas de Processo: Definição nas folhas de processo, de uma combinação de vários recursos para a execução de uma operação, como por exemplo, uma máquina, uma ferramenta e um operador especializado;
- Descrição dos Recursos: Definição de um ou mais calendários para cada máquina ou recurso de modo que as máquinas possam estar em diferentes perfis de produção, além de refletir paradas planejadas ou não;
- Relação entre as Estruturas de Produtos e as Ordens de Produção: Refletir as relações de precedência entre as ordens de produção de acordo com os dados da estrutura de produtos do MRP;
- Ordens Planejadas e em Aberto: Uma das entradas de dados na programação de produção consiste na liberação de ordens planejadas pelo MRP. O sistema deve, também, considerar as ordens em aberto que já estão na produção;

- **Lotes de Produção e Lotes de Transferência:** O lote de transferência é o menor lote de uma peça que é possível de se transportar do ponto de vista administrativo, de movimentação de materiais e de acompanhamento. O lote de produção em uma dada operação é montado a partir de um conjunto de lotes de transferência;
- **Cálculo Dinâmico do Tamanho de Lotes:** Um mesmo item, numa mesma máquina, em diferentes instantes de tempo, pode ser produzido em diferentes tamanhos de lote. Em geral, os tamanhos de lote aumentam para itens com maior tempo de preparação ou quando a utilização do equipamento aumenta [Dobson et alli, 1987; Karmarkar, 1987; Dobson et alli, 1989];
- **Sequenciamento:** Em cada centro de trabalho é determinada a sequência na qual as tarefas são produzidas, segundo critérios de desempenho estabelecidos pelo usuário a partir de algumas opções de regras de despacho. No sistema CLASS [Dobson et alli, 1992] a sequência é determinada com o objetivo de se minimizar os custos, e é recalculada na medida em que as tarefas chegam e deixam o centro de trabalho. No processo de minimização são considerados os custos de espera, custo do atraso e custo da máquina. Os tempos de preparação são considerados para o sequenciamento quando estes forem dependentes da sequência;
- **Operações com Sobreposição:** Quando um lote é completado, este é movimentado para a próxima operação do roteiro. Num arranjo celular, ou onde a movimentação de materiais permite a transferência de lotes pequenos, as operações podem fazer uma sobreposição;
- **Alocação de Recursos para as Operações:** Quando o roteiro de fabricação permite rotas alternativas, a ordem pode ser direcionada para recursos com menor utilização;
- **Programação simultânea dos Recursos:** Programação de múltiplos recursos quando seu uso é previsto simultaneamente na folha de processo [Dobson & Karmarkar, 1989].

Os sistemas de capacidade finita mostraram ser uma resposta às necessidades de programação de produção. Porém muito ainda pode ser feito no sentido de melhorar as técnicas usadas na programação automática, podendo ser implementado através do desenvolvimento de módulos a serem adicionados aos sistemas de programação finita, aproveitando todos os recursos já disponíveis.

2.4. Comentários

No início do capítulo foram descritas as principais características dos sistemas de programação de produção. Em seguida foram apresentados os principais paradigmas para a solução do problema de programação de produção.

Quando se discute a questão da programação de produção é sempre importante, também, não perder a visão de seus reais objetivos, que muitas vezes se perdem nessa discussão. São eles: o atendimento dos pedidos de clientes nas datas corretas, minimizando os custos afetos a programação de produção com destaque para o custo de estoques e os custos envolvidos nas preparações de máquina, que contribuem significativamente para o custo total do produto na indústria de transformação.

Conforme visto anteriormente, apesar das técnicas de programação terem sido apresentadas separadamente, as soluções mais promissoras para o problema apontam para o uso combinado de algumas técnicas:

- A implantação de sistemas JIT/MRP II para sistemas de produção repetitiva e lay-out adequado a implantação de KANBAN;
- A aplicação de técnicas de Otimização ou Inteligência Artificial associados a sistemas de MRP II/Controle de Chão de Fábrica em ambientes de produção onde a dimensão do problema, representado pelo número de produtos (itens), máquinas e operações, torna essas soluções adequadas;
- A aplicação de sistemas de MRP II/Programação Finita/Controle de Chão de Fábrica para sistemas de produção do tipo *Job Shop*, onde a dimensão do problema representado pelo número de produtos (itens), máquinas e operações, torna proibitiva a busca de soluções ótimas.

Nesta última, abre-se um espaço bastante promissor para as pesquisas empregando novas técnicas que otimizem e automatizem o processo de programação de produção. Estas observações apontam para o potencial de aplicação dos sistemas de tomada de decisão baseados em lógica nebulosa na gestão de produção, no tratamento de seus objetivos múltiplos citados que apresentam característica de serem conflitantes entre si e de difícil quantificação.

Capítulo 3

Lógica Nebulosa

Neste capítulo apresenta-se as idéias básicas sobre o uso da lógica nebulosa nos sistemas de tomada de decisão. Apesar de existir uma complexa base formal sustentando seu uso para esta aplicação, evidencia-se neste capítulo somente o necessário para o entendimento da teoria básica dos sistemas de tomada de decisão baseados na lógica nebulosa [Zadeh, 1965; Zadeh, 1968; Zadeh, 1973; Kaufmann, 1975; Lee, 1990a; Lee, 1990b].

Os sistemas de tomada de decisão baseados na lógica nebulosa são aplicados neste trabalho, num sistema de programação finita. Karwowski e Evans [1986] sugerem cinco razões para o uso da lógica nebulosa em sistemas de gestão da produção, descritas a seguir:

- Em muitos casos a experiência e conhecimento de especialistas devem complementar o conhecimento estruturado das teorias de tomada de decisão;
- A maioria das decisões a serem tomadas em sistemas de gestão de produção, são decisões tomadas em um ambiente nebuloso, onde funções objetivo, restrições e variáveis de decisão, não podem ser medidas com precisão;
- A falta de um profundo conhecimento sobre o fenômeno que é objeto de estudo, limita a aplicação de modelos convencionais;
- Em várias situações a informação se apresenta imprecisa e vaga, prejudicando sua qualidade, em função de análises pessoais e subjetivas acerca dos fatos;
- A habilidade de se trabalhar com tolerâncias nebulosas ao invés de números parece ser exatamente o caminho para as pessoas terem sucesso em seu ambiente de trabalho.

3.1. Conjuntos Nebulosos e Lógica Nebulosa

A teoria dos conjuntos nebulosos trata da classe de objetos encontrados no mundo real que não tem uma definição precisa e clara de suas características, ou seja, são conceitos vagos ou ambíguos. Por exemplo, o "conjunto dos números reais que são muito maiores que 1", o "conjunto das mulheres bonitas" ou o "conjunto dos homens altos", não constituem um conjunto no sentido matemático usual em que este termo é usado. No entanto, essa imprecisão na caracterização dos objetos tem um papel muito importante no raciocínio humano e, particularmente, nos processos de tomada de decisão.

3.1.1. Os conjuntos nebulosos e sua terminologia

Seja U um conjunto de objetos denominados genericamente de $\{u\}$, que pode ser discreto ou contínuo. U é chamado de universo de discurso e u representa os elementos genéricos de U .

Definição 1: Conjuntos Nebulosos:

Um conjunto nebuloso F em um universo de discurso U é caracterizado pela função de pertinência μ_F que associa a cada ponto em U um número real no intervalo $[0,1]$, denominado $\mu_F:U \rightarrow [0,1]$. O valor de $\mu_F(u)$ representa o grau de compatibilidade de u com F . Quanto mais perto o valor de $\mu_F(u)$ estiver da unidade, maior o grau de compatibilidade de u com F . Um conjunto nebuloso pode ser visto como uma generalização do conceito de um conjunto ordinário cuja função de pertinência somente possui dois valores $\{0,1\}$, sendo $\mu_F(u)=1$ ou 0 se u pertencer ou não a F [Zadeh, 1965]. Portanto, um conjunto nebuloso F em U pode ser representado como um conjunto ordenado de pares de um elemento genérico u e sua função de pertinência: $F = \{ (u, \mu_F(u)) \mid u \in U \}$, comumente denotado por $F = \{ \mu_F(u)/u \mid u \in U \}$. Quando U é contínuo, um conjunto nebuloso F pode ser expresso como

$$F = \int_U \mu_F(u) / u.$$

Quando U é discreto, um conjunto nebuloso F é representado como:

$$F = \mu_F(u_1)/u_1 + \dots + \mu_F(u_n)/u_n \quad (3.1)$$

ou

$$F = \sum_{i=1}^n \mu_r(u_i)/u_i$$

Deve ser observado que o sinal + na em 3.1 denota união, ao invés de uma soma aritmética.

Exemplo: Seja U o conjunto dos números reais R e A o conjunto dos números que são muito maiores que 1. Uma pessoa pode fazer uma definição precisa, embora subjetiva, caracterizando o conjunto A através de $\mu_A(u)$ em R. Alguns valores representativos dessa função são:

$$\mu_A(0)=0; \quad \mu_A(1)=0; \quad \mu_A(5)=0.01; \quad \mu_A(10)=0.2; \quad \mu_A(100)=0.95; \quad \mu_A(500)=1.$$

O conjunto A pode ser representado por

$$A = 0/0 + 0/1 + 0.01/5 + 0.2/10 + 0.95/100 + 1/500.$$

Definição 2: Suporte, Ponto de Corte e Conjunto Nebuloso Unitário:

O suporte de um conjunto nebuloso F é o conjunto de todos os pontos u em U tal que $\mu_F(u) > 0$. O elemento u em U para o qual $\mu_F(u) = 0.5$, é denominado ponto de corte, e um conjunto nebuloso cujo suporte é um único ponto em U é um conjunto nebuloso unitário. Um conjunto nebuloso F pode ser visto como a união dos conjuntos nebulosos unitários que o constituem.

Definição 3: Subconjuntos Nebulosos:

A é um subconjunto nebuloso de F, denotado por $A \subset F$, se e somente se $\mu_A(u) \leq \mu_F(u)$, $u \in U$. Por exemplo, o conjunto nebuloso $A = 0.6/1 + 0.3/2$ é um subconjunto de $B = 0.8/1 + 0.5/2 + 0.6/3$.

3.1.2. Operações com conjuntos

Sejam A e B dois conjuntos nebulosos em U e suas funções de pertinência μ_A e μ_B , respectivamente. As operações teóricas de conjuntos como união, interseção e complementação para conjuntos nebulosos são definidas pelas suas funções de pertinência, e apresentadas a seguir.

Definição 4: União:

A função de pertinência $\mu_{A \cup B}$ da união de $A \cup B$ é definida ponto a ponto para todo $u \in U$ por

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad \text{ou} \quad \mu_{A \cup B}(u) = \mu_A(u) \vee \mu_B(u).$$

Definição 5: Interseção:

A função de pertinência $\mu_{A \cap B}$ da interseção $A \cap B$ é definida ponto a ponto para todo $u \in U$ por

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \text{ ou } \mu_{A \cap B}(u) = \mu_A(u) \wedge \mu_B(u).$$

A figura 3.1 ilustra as operações de união e interseção de dois conjuntos nebulosos em \mathbb{R}^1 .

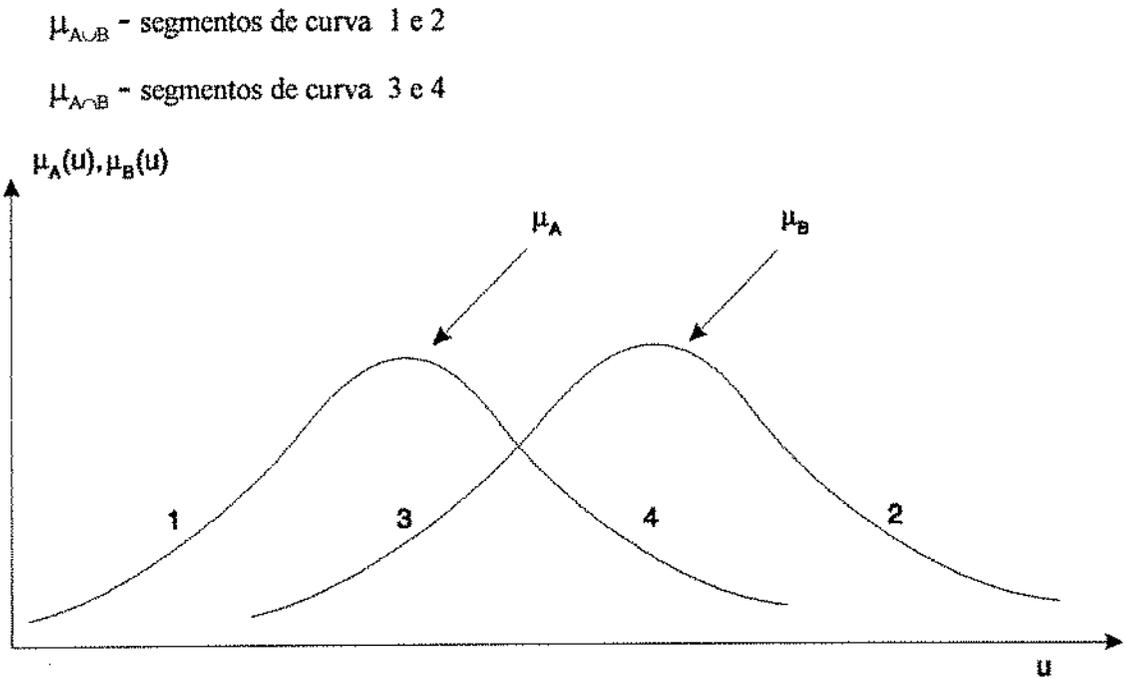


Figura 3.1. Ilustração de união e interseção de conjuntos nebulosos em \mathbb{R} .

Definição 6: Complemento:

A função de pertinência $\mu_{\bar{A}}$ do complemento \bar{A} de um conjunto nebuloso A é definida ponto a ponto para todo $u \in U$ por

$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u).$$

Definição 7: Produto Cartesiano:

Se A_1, \dots, A_n são conjuntos nebulosos em U_1, \dots, U_n , respectivamente, o produto cartesiano de A_1, \dots, A_n é um conjunto nebuloso no espaço n -dimensional $U_1 \times \dots \times U_n$ cuja função de pertinência é expressa por

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \min\{\mu_{A_1}(u_1), \dots, \mu_{A_n}(u_n)\}.$$

Num exemplo simplificado sejam A e B dois conjuntos nebulosos definidos nos respectivos universos de discurso U e V

$$U = 1 + 2$$

$$V = 1 + 2 + 3$$

$$A = 1/1 + 0.8/2$$

$$B = 0.6/1 + 0.9/2 + 1/3.$$

Então

$$A \times B = 0.6/(1,1) + 0.9/(1,2) + 1/(1,3) + 0.6/(2,1) + 0.8(2,2) + 0.8/(2,3).$$

Definição 8: Relação Nebulosa:

Se A e B são conjuntos nebulosos em X e Y, respectivamente, define-se uma relação nebulosa R de X com Y, como um subconjunto nebuloso no produto cartesiano $X \times Y$ (onde, $X \times Y$ é uma coleção de pares ordenados (x,y) , $x \in X, y \in Y$). Caracteriza-se R por uma função de pertinência bidimensional $\mu_R(x,y)$ expressa por

$$R = \int_{X \times Y} \mu_R(x,y) / (x,y).$$

Generalizando, uma relação nebulosa n-dimensional R que é um subconjunto nebuloso em $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ é expressa por

$$R = \int_{X_1 \times \dots \times X_n} \mu_R(x_1, \dots, x_n) / (x_1, \dots, x_n), \quad x_i \in X_i, i = 1, \dots, n.$$

Exemplo: Seja R uma relação nebulosa entre dois conjuntos discretos $X = \{\text{Nova York, Paris}\}$ e $Y = \{\text{Tóquio, Nova York, Londres}\}$ que representa o conceito de "muito distante". Essa relação pode ser representada pela seguinte matriz de pertinência bidimensional:

	Nova	
	York	Paris
Tóquio	1.0	0.9
Nova York	0.0	0.7
Londres	0.6	0.3

*Definição 9: Composição Sup * (supremo-estrela):*

Se R e S são relações nebulosas em $U \times V$ e $V \times W$, respectivamente, a composição de R e S é uma relação nebulosa denotada por $R \circ S$ e é definida por

$$R \circ S = \{(u,v), \sup_v(\mu_R(u,v) * \mu_S(v,w))\}, u \in U, v \in V, w \in W\}$$

onde $*$, entre outros, pode ser um operador mínimo.

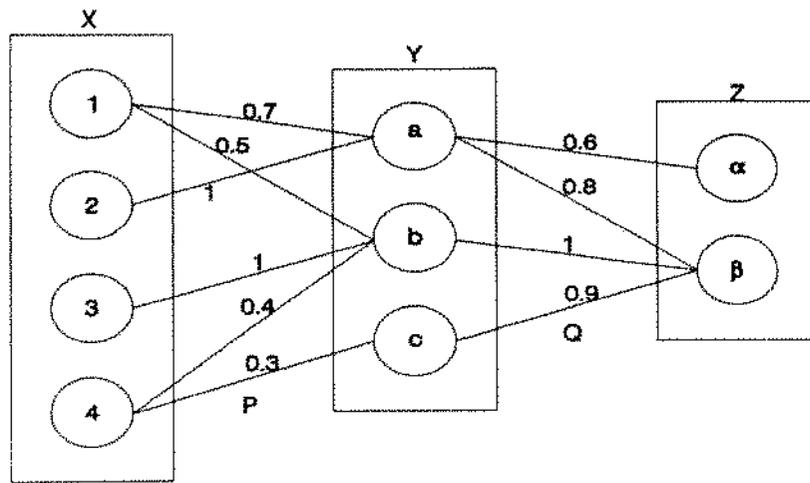
Exemplo: Considere-se duas relações binárias $P(X,Y)$ e $Q(Y,Z)$, especificadas por seus diagramas na figura 3.2 (a). Seja $R(X,Z) = P(X,Y) \circ Q(Y,Z)$. Então, $R(X,Z)$ é representado por sua função de pertinência especificada na figura 3.2 (b), como por exemplo,

$$\mu_R(1,\beta) = \max[\min(0.7,0.8), \min(0.5,1)] = \max[0.7,0.5] = 0.7,$$

$$\mu_R(4,\beta) = \max[\min(0.4,1), \min(0.3,0.9)] = \max[0.4,0.3] = 0.4.$$

Note que os pares de $X \times Z$ que tem valores de função de pertinência maiores que zero, na relação de composição $R=P \circ Q$, são aqueles elementos ligados por linhas fazendo uma interseção num elemento comum em Y , como mostrado na figura 3.2.

Se a composição para relações não nebulosas $P(X,Y)$ e $Q(Y,Z)$ é entendida como a representação da existência de uma corrente de relacionamento entre os elementos de X e Z , então, a composição max-min para uma relação nebulosa pode ser entendida como a força de tal corrente. Esta força é representada pela função de pertinência do par na composição. A força de cada corrente é igual a força de seu elo mais fraco e a força da relação entre os elementos x e z é, então, a força da corrente mais forte entre eles [Klir & Folger, 1988].



(a)

Composição: $R = P \cdot Q$		
x	z	$\mu_R(x,z)$
1	α	0.6
1	β	0.7
2	α	0.6
2	β	0.8
3	β	1
4	β	0.4

(b)

Figura 3.2. Exemplo de uma relação binária de composição

3.1.3. Variáveis Linguísticas e Conjuntos Nebulosos

Definição 10: Número Nebuloso:

Um número nebuloso F num universo contínuo U em \mathbb{R} , é um conjunto nebuloso F em U que é normal e convexo, i.e.,

$$\max_{u \in U} \mu_F(u) = 1 \quad (\text{normal})$$

$$\mu_F(\lambda u_1 + (1 - \lambda)u_2) \geq \min(\mu_F(u_1), \mu_F(u_2)) \quad u_1, u_2 \in U, \lambda \in [0, 1] \quad (\text{convexo}).$$

A figura 3.3 ilustra o conceito da convexidade de conjuntos nebulosos em \mathbb{R}^1 .

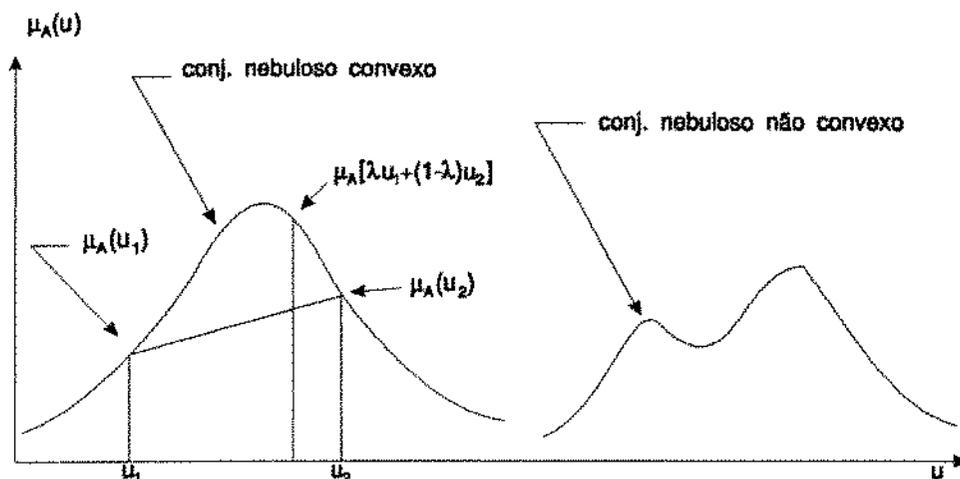


Figura 3.3. Conjuntos nebulosos convexo e não-convexo em R^1

O uso de conjuntos nebulosos provê a base para a manipulação sistemática de conceitos vagos e imprecisos, dentro de uma abordagem lingüística. A abordagem lingüística representa uma mistura entre as abordagens quantitativa e qualitativa, fazendo uso de palavras quando a caracterização numérica não é apropriada, e usando números para tornar o significado das palavras compatível. A caracterização lingüística usa o conceito de variável lingüística com valores que não são números, mas palavras de uma linguagem natural (artificial). Uma variável lingüística é uma variável nebulosa, cujo valor num determinado momento, é um número nebuloso em um universo de discurso.

Definição 11: Variáveis Linguísticas:

Uma variável lingüística é caracterizada por uma quintupla $(x, T(x), U, G, M)$ onde x é o nome da variável; $T(x)$ é o conjunto de termos de x , isto é, o conjunto de valores lingüísticos de x sendo cada valor um número nebuloso definido em U ; G é um regra sintática para gerar os nomes dos valores de x ; e, M é uma regra semântica para associar a cada valor o seu significado. Por exemplo, se *temperatura* é interpretada como uma variável lingüística, então seu conjunto de termos $T(\text{temperatura})$ pode ser:

$$T(\text{temperatura}) = \{ \text{baixa, agradável, alta} \}$$

onde cada termo em $T(\text{temperatura})$ é caracterizado por um conjunto nebuloso em um universo de discurso $U = [-30, 60]$. A temperatura "baixa" pode se interpretada como temperaturas "abaixo de 15°C ", "agradável" como temperaturas "em torno de 25°C ", e "alta" como temperaturas "acima de 35°C ".

O conhecimento da língua portuguesa e dos fenômenos físicos, permite selecionar o conjunto de termos que caracterizam uma grandeza (regra sintática) e determinar o significado de cada um dos termos (regra semântica). Estes termos podem ser caracterizados como conjuntos nebulosos cujas funções de pertinência são mostradas na figura 3.4.

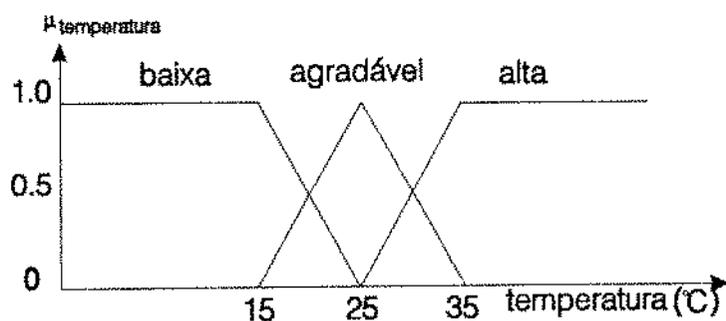


Figura 3.4. Representação gráfica na variável linguística temperatura, com os três termos que a caracterizam: baixa, agradável e alta.

3.1.4. Lógica Nebulosa e Raciocínio Aproximado

Com o uso das variáveis linguísticas e seus valores (termos) representados por conjuntos nebulosos, pode-se implementar o que se denomina uma proposição nebulosa. Uma proposição nebulosa é simplesmente a atribuição de um valor linguístico a uma variável linguística. Usando o exemplo da variável linguística *temperatura* definida no item 3.1.3, pode-se formar três tipos de proposições nebulosas com esta variável linguística:

temperatura é baixa;

temperatura é agradável;

temperatura é alta.

Com o uso das proposições nebulosas, pode-se então montar a estrutura básica de representação do conhecimento em lógica nebulosa, que são as regras nebulosas. Uma regra nebulosa é uma relação nebulosa expressa como uma implicação nebulosa, onde se uma determinada condição é satisfeita, então uma conclusão pode ser tomada. Em lógica nebulosa, a condição não precisa ser associada a uma certeza,

podendo ser descrita por uma proposição nebulosa ou um conjunto de proposições nebulosas, que por sua própria definição contém elemento de incerteza. Por exemplo,

SE temperatura1 é alta E temperatura2 é alta ENTÃO a refrigeração é aumentada.

As proposições nebulosas que fazem parte da condição da regra são chamadas de antecedentes, e as que fazem parte da conclusão são chamadas de conseqüentes. Os antecedentes de uma regra serão sempre proposições do tipo perceptivo, ou seja, constatarem uma determinada condição.

Já os conseqüentes das regras podem ser de dois tipos. O primeiro deles é o tipo *perceptivo*, quando se atinge um grau maior de abstração, como por exemplo na seguinte regra:

SE temperatura é alta E pressão é muito alta ENTÃO situação é perigosa.

Outro tipo de conseqüente é o tipo *decisivo*, ou seja, algum tipo de decisão tomada diante da constatação de uma determinada condição, como por exemplo na seguinte regra:

SE a situação é perigosa ENTÃO abrir bastante a válvula de segurança.

Uma regra nebulosa, SE x é A_i E y é B_i ENTÃO z é C_i é implementada por uma implicação nebulosa (relação nebulosa) R_i e expressa por

$$\mu_{R_i} \stackrel{\Delta}{=} \mu_{(A_i \text{ e } B_i \rightarrow C_i)}(u, v, w)$$

$$\mu_{R_i} = [\mu_{A_i}(u) \text{ e } \mu_{B_i}(v)] \rightarrow \mu_{C_i}(w) \quad (3.2)$$

onde A_i e B_i é um conjunto nebuloso $A_i \times B_i$ em $U \times V$; $R_i \stackrel{\Delta}{=} (A_i \text{ e } B_i) \rightarrow C_i$ é uma implicação (relação) nebulosa em $U \times V \times W$; e \rightarrow denota o operador de implicação nebulosa.

Na lógica nebulosa e no raciocínio aproximado uma importante regra de inferência é decorrente do modus ponens generalizado (GMP):

fato:	x é A'
regra:	SE x é A ENTÃO y é B
consequência:	y é B'

onde, os conjuntos nebulosos A, A', B, B' são associados às variáveis linguísticas x e y , aos invés de conjuntos da lógica tradicional.

Usualmente esta regra de inferência é interpretada pela lei de inferência composicional para raciocínio aproximado sugerida por Zadeh [1973]. Nesta abordagem, uma regra nebulosa

SE x é A ENTÃO y é B ,

que pode ser escrita resumidamente por $A \rightarrow B$, é primeiramente transformada numa relação nebulosa

$R_{A \rightarrow B}$. Por exemplo

$$\mu_{R_{A \rightarrow B}} = \min(\mu_A(u), \mu_B(v)); u \in U, v \in V$$

onde \min é o operador de implicação. Dado um fato x é A' (ou simplesmente A') e uma regra $A \rightarrow B$, a lei de inferência composicional definida a seguir induz a consequência.

Definição 12: Lei de Inferência Composicional Supremo- :*

Se R é uma relação nebulosa em $U \times V$, e A' é um conjunto nebuloso em U , então, a lei de Inferência Composicional Supremo-* define que o conjunto nebuloso B' em V induzido por A' é dado por

$$B' = A' \circ R$$

onde $A' \circ R$ é a composição supremo-* de A' e R . A "*" pode representar o operador *mínimo*, o operador *produto*, entre outros [Lee, 1990].

Com o uso dos elementos definidos na lógica nebulosa, esta pode ser usada na implementação de sistemas de tomada de decisão. O conhecimento de um especialista referente as relações entre grandezas abstratas é codificado na forma de regras nebulosas, gerando uma base de regras, onde cada regra nebulosa é representada por uma relação nebulosa. —

O comportamento global de um sistema nebuloso é caracterizado pelo conjunto de regras nebulosas definidas na base de regras (relações nebulosas). A ligação entre as regras nebulosas de uma base de regras é definida pelo operador de agregação *agreg*. Com o uso desse operador um sistema nebuloso pode ser definido por uma única relação nebulosa, que é a combinação de todas as relações nebulosas provenientes das diversas regras. Esta combinação envolve um operador de agregação de regras, e é expressa por

$$R = \text{agreg}(R_1, R_2, \dots, R_n)$$

onde *agreg* representa o operador de agregação das regras. Usualmente o operador de agregação é interpretado como um operador de união.

Em seguida a definição da base de regras, cada conceito abstrato é especificado através de conjuntos nebulosos, por meio de funções de pertinência definidas sobre o universo de discurso de cada grandeza manipulada. Estas funções são, então, armazenadas em uma base de funções.

3.2. Sistema de Tomada de Decisão baseado em Lógica Nebulosa

Esta seção apresenta as principais idéias envolvendo um Sistema de Tomada de Decisão (STD) baseado em lógica nebulosa. A figura 3.5 apresenta a configuração básica de um STD, que é composto de quatro módulos principais: uma interface de *fuzzyficação*, uma base de conhecimento, uma lógica de tomada de decisão e uma interface de *defuzzyficação*.

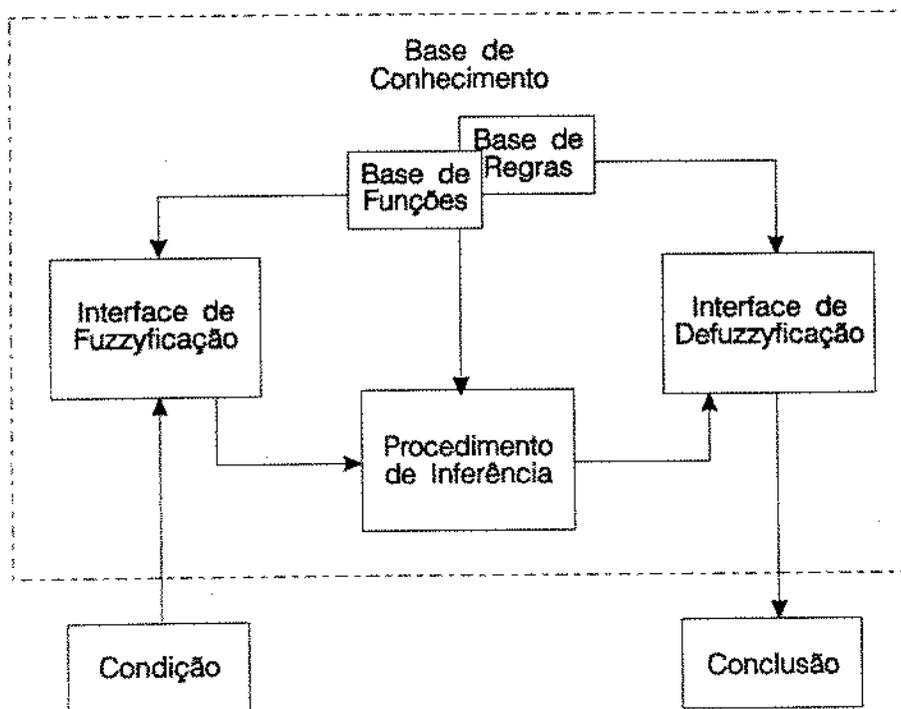


Figura 3.5. Configuração básica de um Sistema de Tomada de Decisão baseado em Lógica Nebulosa

I. A interface de *fuzzyficação* envolve as seguintes funções;

- a. adquire os valores das variáveis de entrada,
 - b. realiza um escalamento que mapeia os valores de entrada para seus valores correspondentes dentro do universo de discurso,
 - c. realiza função de *fuzzyficação* que converte dados de entrada em valores lingüísticos, valores estes que podem ser vistos como nomes de conjuntos nebulosos.
- II. A base de conhecimento compreende o conhecimento sobre o domínio da aplicação e os objetivos a serem atingidos. Esta consiste de uma Base de Funções e uma Base de Regras.
- III. O procedimento de inferência é o núcleo de um sistema nebuloso; ele permite simular o mecanismo humano de tomada de decisão, empregando implicações nebulosas e regras de inferência da lógica nebulosa.
- IV. A função de *defuzzyficação* gera, quando necessário, uma conclusão não nebulosa a partir de conclusões nebulosas oriundas do procedimento de inferência.

3.2.1. A Função de *Fuzzyficação*

A função de *fuzzyficação* está relacionada aos aspectos vagos e imprecisos da linguagem natural. Consiste em avaliar subjetivamente um dado de entrada, e portanto, pode ser definida como o mapeamento de um dado de entrada num conjunto nebuloso, em um certo universo de discurso. Simbolicamente,

$$A = \text{fuzzyficador}(u_0)$$

onde u_0 é um dado de entrada bem definido; A é um conjunto nebuloso; e *fuzzyficador* representa um operador de *fuzzyficação*.

De uma forma conceitual o operador de *fuzzyficação* converte um valor preciso em um conjunto nebuloso unitário dentro de um universo de discurso. O dado de entrada u_0 é interpretado pelo operador de *fuzzyficação* como um conjunto nebuloso A , onde $\mu_A(u_0)$ é o valor da função de pertinência de u_0 em A .

3.2.2 A Base de Funções

Os conceitos definidos na base de funções são utilizados para caracterizar as regras nebulosas e a manipulação de dados nebulosos em um STD. Esses conceitos são subjetivos e definidos com base na experiência e no conhecimento de especialistas. Deve ser observado que a escolha correta das funções de pertinência de um conjunto de termos, exerce um papel essencial para o sucesso de uma aplicação.

Como exposto anteriormente, uma variável lingüística está associada a um conjunto de termos, onde cada termo do conjunto é definido dentro do mesmo universo de discurso. Uma partição nebulosa define, então, quantos termos devem existir em um conjunto de termos, ou qual deve ser o número de conjuntos nebulosos primários. O número de conjuntos nebulosos é que determina a precisão ou o grau de detalhamento que pode ser obtido com um STD. Um exemplo típico é apresentado na figura 3.6, onde são retratadas dois tipos de partição nebulosa num mesmo universo de discurso.

O número de elementos do conjunto de termos das variáveis lingüísticas de entrada determina o número máximo de regras que podem ser construídas. Por exemplo, no caso de um sistema nebuloso com duas entradas e uma saída, se o número de elementos de $T(x)$ e $T(y)$ são 3 e 7, respectivamente, o número máximo de regras é 3×7 . A definição do número de partições para as variáveis lingüísticas não é determinística e não tem uma única solução, sendo necessário analisar diversas tentativas para se obter a melhor partição.

Ao se especificar uma base de funções, deve haver uma preocupação com o suporte no qual os conjuntos nebulosos primários são definidos. A união dos suportes dos conjuntos nebulosos primários deve cobrir todo o universo de discurso com relação a um dado valor de pertinência ϵ . Esta propriedade de uma base de funções é denominada ϵ -completa. Em geral, o valor ϵ é escolhido como o ponto de corte, de modo que sempre exista um conceito dominante, associado a um valor de pertinência maior que 0.5.

Existem dois métodos para se definir a função de pertinência de conjuntos nebulosos. Dependendo do universo de discurso ser discreto ou contínuo, o método usado é numérico ou por função, respectivamente.

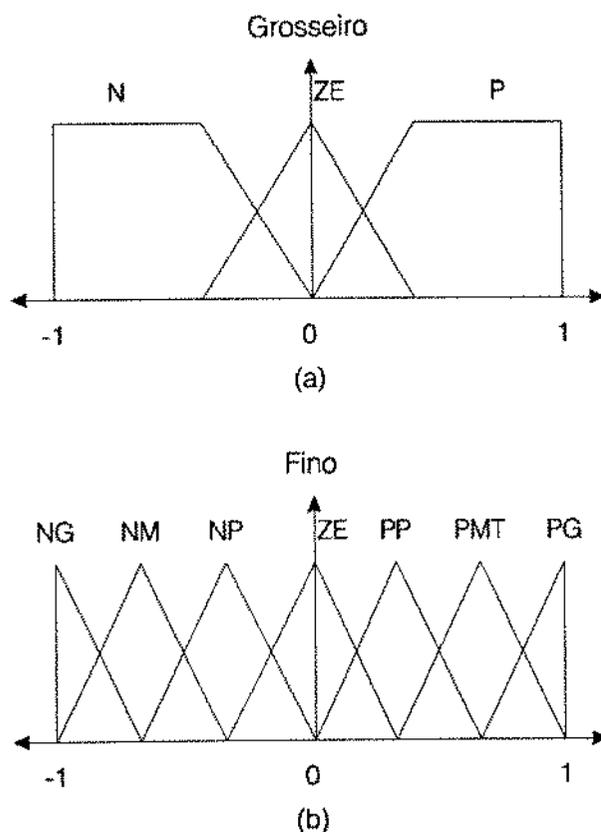


Figura 3.6. Representação gráfica de dois tipos de partição nebulosa, onde:

(a) Uma partição grosseira com três termos: N, negativo; ZE, zero; P, positivo; e,

(b) Uma partição fina com sete termos: NG, negativo grande; NM, negativo médio; NP, negativo pequeno; ZE, zero; PP, positivo pequeno; PM, positivo médio ; PG, positivo grande.

Os valores da função de pertinência de um conjunto nebuloso definido pelo método numérico, é representado por um vetor de números, cuja dimensão depende da discretização do universo.

No método de definição por função, a função de pertinência dos conjuntos nebulosos é feita através de funções matemáticas. Alguns tipos de funções são típicas nos STD como as funções em forma de seno, triângulo, trapezoidal, etc. As funções de pertinência definidas funcionalmente podem ser facilmente redefinidas quando de mudanças no universo de discurso, ou durante o processo de melhoria da especificação das funções. A figura 3.7 apresenta um exemplo de uma função de pertinência expressa por:

$$\mu_f(x) = \exp\{ -(x - u_f)^2 / 2\sigma_f^2 \}.$$

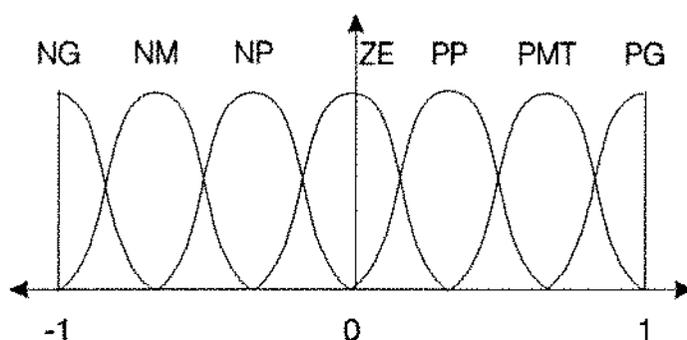


Figura 3.7. Exemplo de subconjuntos nebulosos definidos por função.

Note que as alterações são realizadas através das mudanças nos valores de u_f (ponto de amplitude máxima) e σ_f (desvio padrão).

3.2.3. A Base de Regras

Um sistema nebuloso é caracterizado por um conjunto de declarações lingüísticas baseadas no conhecimento de especialistas. O conhecimento é usualmente expresso na forma de regras "se-então", que são facilmente implementadas através de implicações nebulosas da lógica nebulosa. A coletânea de regras nebulosas expressas na forma de implicações nebulosas formam a base de regras de um STD. Nesta seção são apresentados alguns tópicos relacionados às regras nebulosas.

As regras nebulosas são mais convenientemente formuladas em termos lingüísticos ao invés de termos numéricos. A escolha correta das variáveis do antecedente e das variáveis do conseqüente é essencial para a caracterização da operação de um sistema nebuloso. Além disso, a seleção das variáveis lingüísticas tem um efeito significativo no desempenho de um sistema. Conforme visto anteriormente, a experiência e o conhecimento de especialistas exercem um papel importante durante o estágio da seleção das variáveis. Em particular a escolha das variáveis lingüísticas e suas funções de pertinência tem uma forte influência na estrutura lingüística de um STD.

As regras nebulosas tem a forma de uma implicação nebulosa que relaciona as variáveis do antecedente com as variáveis do conseqüente. Em relação a este fato, é interessante notar que, no dia a dia, a natureza da maioria das informações nas quais nossas decisões se baseiam são lingüísticas ao invés de numéricas. Sob essa ótica, as regras nebulosas provêm uma estrutura natural para a caracterização do

comportamento humano no processo de tomada de decisão. Muitos especialistas descobriram que as regras nebulosas são uma forma conveniente de expressar seu domínio de conhecimento.

Existem duas abordagens empíricas para se formular as regras nebulosas e que dependem basicamente da origem do conhecimento. O mais comum envolve uma introspecção e uma verbalização de modo a formalizar o conhecimento do especialista. Uma outra abordagem compreende na elaboração de uma série de entrevistas com especialistas experimentados ou operadores, usando questionários cuidadosamente preparados. Assim é possível se montar um protótipo da base de regras para um dado domínio de aplicação, para, daí em diante, se melhorar o desempenho do sistema através do processo de tentativa e erro.

Não existe um procedimento padrão para se decidir pelo número de regras considerado ótimo, na medida em que diversos fatores influenciam o processo de definição das regras, tais como: o desempenho do sistema, a eficiência computacional, a experiência e o conhecimento de especialistas e a escolha das variáveis lingüísticas.

Como a obtenção das regras nebulosas está baseada na experiência ou no conhecimento de especialistas, as regras podem estar sujeitas a diferentes critérios de desempenho. Na prática, é importante verificar a consistência das regras de modo a minimizar a possibilidade de contradições.

Na especificação da base de regras duas condições devem ser obedecidas. A primeira diz respeito a abrangência das regras, de tal forma que todas as condições definidas pelas variáveis de entrada estejam contempladas. A segunda diz respeito ao grau de correspondência entre os dados de entrada e as condições nebulosas pré-definidas, que não deve ser inferior a 0.5 nos antecedentes de pelo menos uma regra. Caso contrário nenhuma regra dominante será disparada.

3.2.4. Procedimento de Inferência

Após a definição da base de funções e da base de regras esta seção apresenta os conceitos utilizados no procedimento de inferência de um sistema de tomada de decisão. Considerando-se a seguinte base de regras da forma MISO (*multiple-input-single-output*) no caso de duas variáveis de entrada e uma de saída:

Condição:	entrada: $x \in A' E y \in B'$
Regras:	$R_1: SE x \in A_1 E y \in B_1 ENTÃO z \in C_1$
	<i>agreg</i> $R_2: SE x \in A_2 E y \in B_2 ENTÃO z \in C_2$

	<i>agreg</i> $R_n: SE x \in A_n E y \in B_n ENTÃO z \in C_n$
Conclusão:	saída: $z \in C'$

onde x , y e z são variáveis lingüísticas representando duas variáveis de condição e uma variável de conclusão, respectivamente; A_i , B_i e C_i são valores lingüísticos das variáveis lingüísticas x, y e z nos universos de discurso U, V e W , respectivamente, com $i = 1, \dots, n$.

A regra nebulosa $SE (x \text{ is } A_i E y \text{ is } B_i) ENTÃO (z \text{ is } C_i)$ é implementada como uma implicação (relação) nebulosa R_i como definida na equação 3.2.

O conseqüente C' é deduzido a partir da lei de inferência composicional supremo-* empregando-se as implementações da função de implicação nebulosa e dos operadores e e *agreg*, apresentadas a seguir:

a. A função de implicação nebulosa implementada usa o operador mínimo, R_e , expressa por

$$R_e = A \times B$$

$$R_e = \int_{U \times V} \mu_a(u) \wedge \mu_b(u)$$

b. O conectivo E , que liga as variáveis lingüísticas nos antecedentes das regras nebulosas, foi implementado pelo operador mínimo. Como uma ilustração, na regra $SE (A E B) ENTÃO C$, o antecedente é interpretado como um conjunto nebuloso no produto cartesiano $U \times V$, com a função de pertinência expressa por

$$\mu_{A \times B} = \min\{ \mu_A(u), \mu_B(u) \}$$

onde U e V são universos de discurso associados a A e B respectivamente.

c. O operador *agreg*, por sua vez foi implementado através do operador de união. Como uma ilustração, a base de regras, R , é expressa por

$$\mu_R = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \mu_{R_i} \right\} \quad (3.3)$$

Conseqüentemente, o resultado do procedimento de inferência aplicado ao exemplo é expresso por

$$\mu_C = \bigcup_{i=1}^n \mu_{C_i} \quad (3.4)$$

Considerando-se que os valores de entrada do procedimento de inferência são conjuntos nebulosos unitários, no exemplo $A'=u_0$ e $B'=v_0$, então, o resultado derivado da aplicação da regra do operador mínimo, R_c , e do operador E é simplificado e pode ser expresso por

$$R_i = \alpha_i \wedge \mu_{C_i}(w) \quad (3.5)$$

onde $\alpha_i = \mu_{A_i}(u_0) \wedge \mu_{B_i}(v_0)$

Aplicando-se a equação 3.5, na definição do operador de conectividade *também* (eq. 3.4), tem-se

$$\mu_C = \bigcup_{i=1}^n \alpha_i \wedge \mu_{C_i} \quad (3.6)$$

onde α_i representa uma ponderação ou um fator de contribuição da i -ésima regra para a conclusão do sistema.

De modo a ilustrar graficamente os procedimentos adotados no procedimento de inferência apresentado acima, supõe-se um sistema nebuloso composto somente de duas regras mostradas a seguir:

R_1 : SE x é A_1 E y é B_1 ENTÃO z é C_1 ,

R_2 : SE x é A_2 E y é B_2 ENTÃO z é C_2 .

Considerando-se os valores de entrada $A' = u_0$ e $B' = v_0$. Nos sistemas de tomada de decisão os dados de entrada são geralmente precisos, fornecidos por valores numéricos. Estes dados são convertidos em conjuntos nebulosos unitários através da função de *fuzzyficação*. Os antecedentes das regras α_1 e α_2 da primeira e da segunda regras são expressos por

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0)$$

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0)$$

onde $\mu_{A_1}(x_0)$ e $\mu_{B_1}(y_0)$ indicam o grau de aderência dos dados de entrada às condições definidas no antecedente da regra nebulosa. A conclusão é expressa por

$$\mu_C(w) = \mu_{C_1} \vee \mu_{C_2}$$

$$\mu_C(w) = [\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(w)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(w)].$$

O processo de raciocínio nebuloso deste exemplo é ilustrado graficamente na figura 3.8.

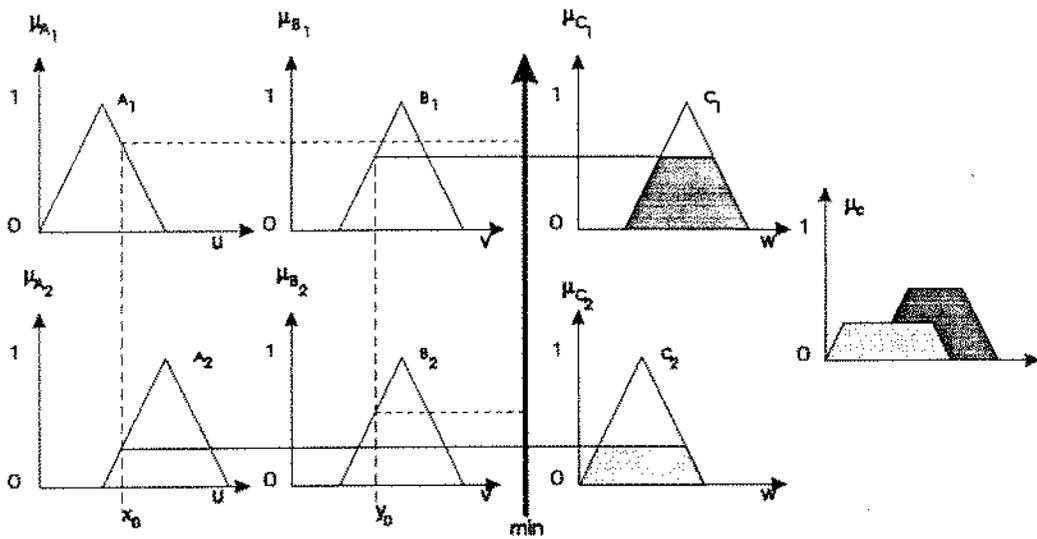


Figura 3.8. Representação gráfica do procedimento de inferência

3.2.5. A função de Defuzzyficação

Basicamente, a função de *defuzzyficação* é o mapeamento de uma conclusão nebulosa definida em seu universo de discurso para de uma conclusão precisa, ou seja, não nebulosa. Este procedimento é empregado pois muitas aplicações práticas necessitam uma conclusão precisa.

O objetivo da função de *defuzzyficação* é obter uma conclusão precisa que represente, da melhor forma possível, as conclusões nebulosas resultantes do procedimento de inferência.

A função de *defuzzyficação* utilizada neste trabalho, é a do Centro de Área, que gera o centro de gravidade da distribuição de possibilidade de uma conclusão. No caso de um universo discreto, a *defuzzyficação* é expressa por

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_z(w_j) \cdot w_j}{\sum_{j=1}^n \mu_z(w_j)}$$

onde n é o número de valores da conclusão do sistema. A figura 3.9 mostra uma representação gráfica desse método de *defuzzyficação*.

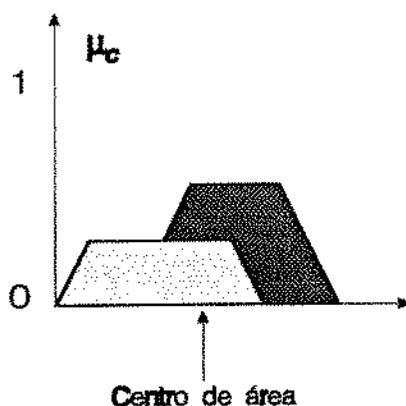


Figura 3.9. Representação gráfica da função de *defuzzyficação*

3.3. Comentários

Neste capítulo foram apresentadas as idéias básicas sobre a lógica nebulosa e seu uso em sistemas de tomada de decisão. A tecnologia decorrente da lógica nebulosa tem gerado aplicações e produtos em diversas áreas, principalmente envolvendo sistemas de controle.

Presentemente, uma variedade de aplicações comerciais e industriais está disponível, destacando-se neste cenário o Japão, e mais recentemente os EUA e a Alemanha. Exemplos típicos incluem produtos de consumo tais como geladeiras (Sharp), ar condicionados (Mitsubishi), câmaras de vídeo (Canon, Panasonic), máquinas de lavar roupa (Sanyo), etc. Na indústria automotiva destacam-se transmissões

automáticas (Nissam), injeção eletrônica, suspensão ativa e freios anti-bloqueantes. Suas aplicações em sistemas industriais incluem controle de grupo de elevadores (Hitachi), ventilação de túneis urbanos (Toshiba), entre outros [Gomide et alli, 1992].

No Brasil, apesar do uso e da aplicação extensiva ainda ser incipiente, várias indústrias e empresas vêm desenvolvendo produtos e serviços (HI Tecnologia).

Na área de gestão de produção as aplicações tem-se concentrado em modelos de localização de fábricas [Liang & Wang, 1991], no planejamento de lay-out [Grobelny, 1988; Raoot & Karshit, 1991] e no planejamento mestre de produção [Lethimaki, 1987]. O número de aplicações nesta área do conhecimento ainda é insignificante quando comparado ao número de trabalhos e produtos nas áreas de controle, indicando por outro lado, um grande potencial de aplicação.

Capítulo 4

Proposta de Modelo

Neste capítulo propõe-se um modelo para a programação de produção baseado em lógica nebulosa.

Inicialmente apresenta-se os objetivos perseguidos com a proposta de modelo. Em seguida descreve-se a estrutura do modelo caracterizando-se dois níveis de tomada de decisão: o nível de alocação de recursos e o nível do sequenciamento. Enfatiza-se nesta descrição o nível de sequenciamento, onde reside a maior contribuição deste trabalho.

Para o nível de alocação de recursos descreve-se o procedimento de alocação, em termos da seleção da máquina e da definição do instante da alocação e as possibilidades de realocação.

Para o nível de sequenciamento apresenta-se a dinâmica do processo de sequenciamento, os critérios utilizados e as características do sistema de tomada de decisão baseado na lógica nebulosa. Descreve-se a seguir, as estruturas das bases de conhecimento do sistema de tomada de decisão, que implementam os critérios utilizados na avaliação das ordens de produção, no decorrer do processo de programação. Realiza-se dois tipos de avaliação: uma avaliação tecnológica, definida a partir de parâmetros dependentes do tipo de produto e processo, e uma avaliação gerencial, definida a partir da combinação de parâmetros dependentes da dimensão tempo, de parâmetros gerenciais e do resultado da avaliação tecnológica.

Finalmente, descreve-se o conceito de fronteira de carregamento e sua aplicação no processo de programação.

4.1. Objetivos da Programação da Produção

Como visto anteriormente, a programação de produção tem efeito direto nos custos e pode ser alterada para minimizá-los. Os custos de produção afetos à programação de produção são:

- O custo de preparação da máquina, caracterizado por duas componentes básicas, que são: os custos de troca ou ajustes de ferramental e dispositivos, material para a limpeza da máquina, entre outros; e, a perda de capacidade caracterizada como um custo oculto, especialmente quando se precisa de mais capacidade de produção. Na medida em que a indústria de processos é intensiva em capital, existe a necessidade de que as máquinas sejam plenamente utilizadas;
- O custo dos estoques, que corresponde ao custo do produto manufaturado mais o custo de manter os produtos armazenados, aguardando o momento da entrega; e,
- O atendimento da demanda nas datas de entrega previstas, analisado do ponto de vista de seu custo/benefício.

Dentro desse quadro os objetivos a serem perseguidos pela programação de produção são:

- a minimização dos atrasos em relação às datas de entrega dos pedidos;
- a minimização da preparação de máquina; e,
- a minimização dos estoques de produtos.

Esta proposta de modelo objetiva, também, tratar os múltiplos parâmetros envolvidos no processo decisório de uma forma qualitativa, aproveitando-se do fato que as decisões de programação no ambiente industrial são tomadas pelos planejadores com base no conhecimento e na experiência adquirida ao longo dos anos, sem o apoio das áreas de custos. Minimiza-se, assim, as necessidades de um detalhamento maior e da precisão das informações necessárias ao processo de tomada de decisão.

Os objetivos da programação de produção definidos acima estão ligados a cada ordem de produção, que deve ser programada em função de se atender a uma demanda de um cliente. Esses objetivos não são atributos ou características de uma ordem ou do item a ser produzido, mas função de como essa ordem será programada.

Analisando-se primeiramente os objetivos de minimização dos atrasos em relação às datas de entrega dos pedidos e minimização dos estoques de produtos, vê-se que são dependentes da dimensão

tempo, ou seja, do instante no qual uma ordem será programada. Isso significa dizer que para se avaliar a programação de produção de uma ordem, quanto ao atendimento desses objetivos, só é possível de ser feito com um processo de simulação, para se determinar quando essa ordem será produzida.

O objetivo de minimização da preparação de máquina, por seu turno, depende da sequência em que as ordens de produção são programadas. Quando um item A é sequenciado após um item B, a similaridade entre os itens e seus respectivos parâmetros do processo de fabricação, é que vai determinar o esforço de preparação da máquina, e seu nível de aderência ao objetivo da programação de produção de minimizar as preparações de máquina.

Dessa forma, a verificação quanto ao atendimento dos objetivos citados só poderá ser avaliada, quando da construção da própria programação de produção, através de um processo de simulação, criando-se as situações para que as ordens sejam avaliadas.

O modelo proposto contempla o sequenciamento da produção, através de um processo de simulação, nos centros de trabalho que são gargalos, ou seja, aqueles que limitam a capacidade de produção de um sistema de manufatura [Jacobs, 1984].

4.2. Divisão da tarefa de Programação de Produção

Conforme colocado no capítulo 2, a programação de produção deve responder as seguintes questões:

- a. Quais recursos serão alocados para executar cada tarefa ?
- b. Quando cada tarefa será executada ?

Para responder a estas questões a solução do problema de programação requer decisões de alocação de recursos (a) e decisões de sequenciamento de tarefas (b).

De modo a simplificar o processo de tomada de decisão, propõe-se no modelo a divisão das tarefas de programação em dois níveis hierárquicos, como descrito a seguir:

- Nível de alocação de recursos;
- Nível de sequenciamento.

No nível de alocação de recursos faz-se a alocação das ordens de produção nas máquinas de um centro de trabalho. O objetivo desse nível é distribuir as ordens entre as máquinas, de modo que a carga média de cada máquina, seja compatível com sua respectiva capacidade de produção.

No nível do sequenciamento, o objetivo é definir detalhadamente o programa de produção para cada máquina do centro de trabalho gargalo, tratando-se separadamente cada uma delas. O programa de produção de cada máquina consiste da definição do instante, ou seja, data e hora em que cada ordem deve ser produzida.

A descrição detalhada de cada nível é apresentada nas sessões seguintes.

4.3. A Alocação de Recursos

No nível de alocação de recursos são tratadas, para cada ordem de produção, duas questões básicas quanto a alocação de recursos: a seleção do equipamento e a determinação da data de início mais tarde para cada operação da ordem de produção, data na qual a mesma será inicialmente alocada.

O primeiro passo é definir em qual máquina o item será produzido em cada operação do processo de fabricação. Para uma dada operação a ser realizada em um centro de trabalho, a escolha da máquina segue a indicação do planejamento do processo de fabricação, sendo a ordem de produção alocada inicialmente na primeira máquina de uma lista de máquinas indicadas para aquela operação, ordenadas em ordem de preferência.

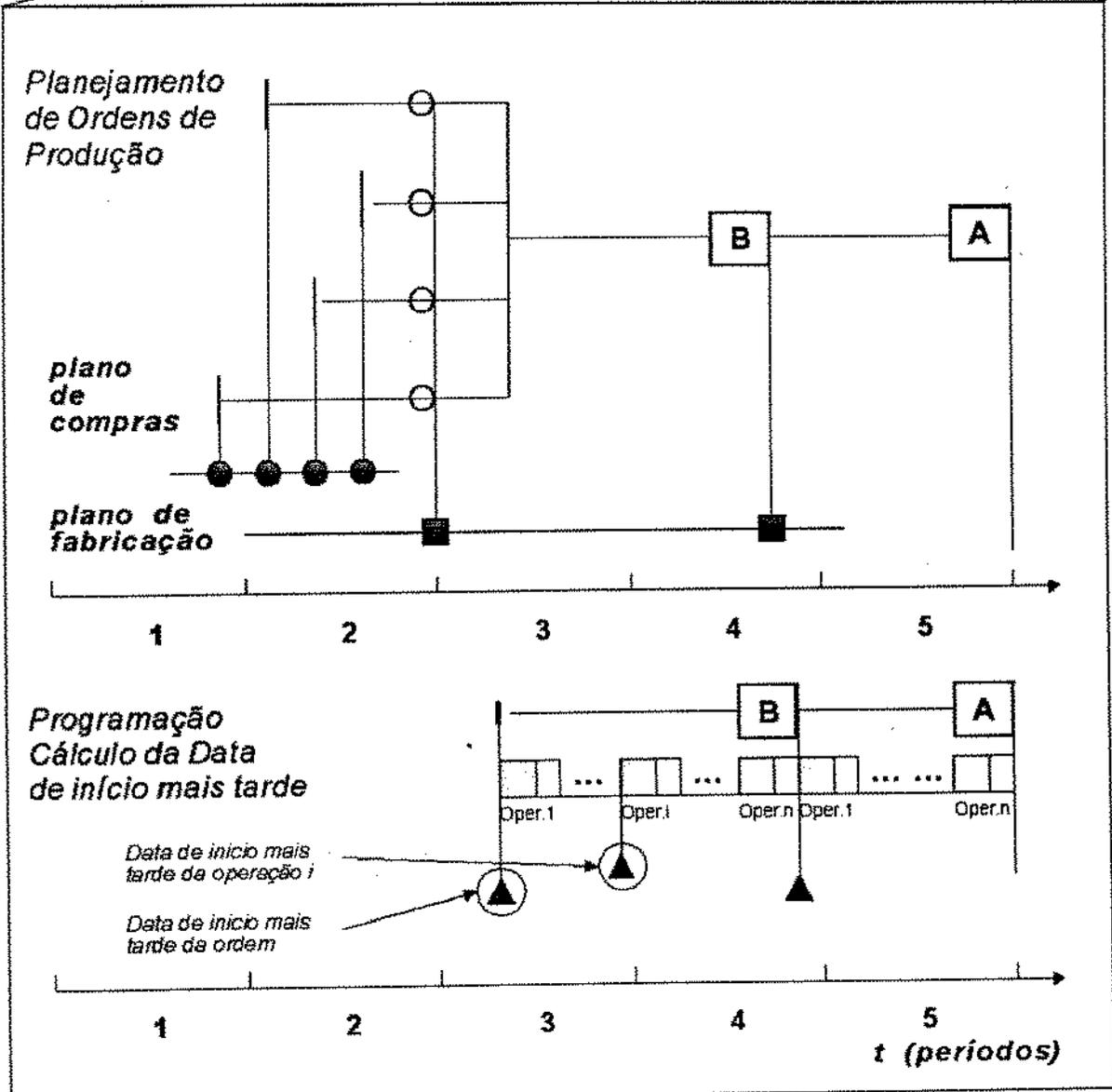
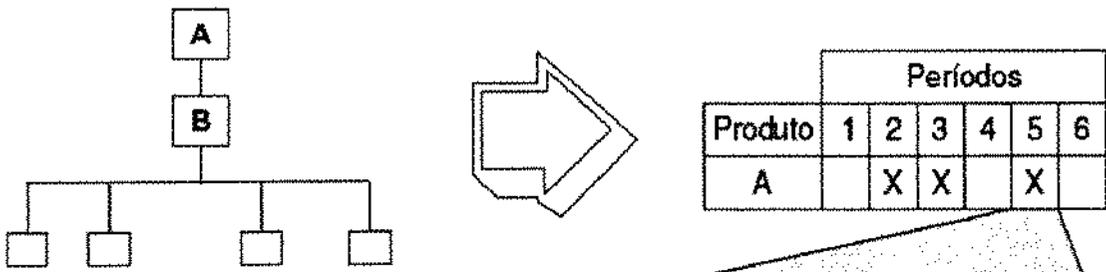
Em relação a data de alocação, a ordem de produção é alocada na data de início mais tarde para cada operação da ordem. Essa data é obtida fazendo-se uma simulação "para trás" do progresso da ordem de produção, a partir da data de entrega do pedido. Neste procedimento são considerados os tempos de transporte, espera, preparação e processamento. Neste caso, o tempo de processamento é calculado considerando-se a quantidade a ser produzida pela ordem e a produtividade da máquina na qual a ordem foi alocada. No processo de simulação "para trás" a capacidade de produção das máquinas é considerada infinita.

A data de início de produção assim calculada, atende aos objetivos de minimização dos atrasos e de minimização dos estoques, pois uma vez que o produto tem sua produção iniciada nesta data, não se gera atraso e o produto uma vez concluída sua produção é imediatamente expedido. A data de início mais

tarde, é portanto, a data ideal de fabricação quando se considera entre os objetivos, àqueles afetos à dimensão tempo. Pode-se dizer que a data de início mais tarde de uma ordem de produção estabelece uma âncora temporal. Qualquer deslocamento no tempo do início de produção, seja para frente ou para traz, penaliza essa ordem quanto ao atendimento desses objetivos.

O cálculo da data de início mais tarde difere do procedimento de cálculo utilizado pelo MRP, para calcular a data de início da ordem de produção. No MRP, a data de início da ordem de produção é calculada utilizando-se o tempo de reposição, que é um tempo fixo necessário para se obter um dado produto. Como o tempo de reposição é um atributo do produto, na sua composição considera-se um tempo de fabricação, que independe das variações de quantidade das ordens de produção do produto. Dessa forma, para contemplar os vários possíveis tamanhos de lote, o tempo de reposição deve considerar o maior tempo de fabricação. Cumpre salientar, que a data de início da ordem de produção calculada pelo MRP não significa necessariamente a data efetiva de início de produção, devido a existência de tempos de segurança em sua composição.

A figura 4.1 apresenta de uma forma esquemática o procedimento utilizado ao nível do planejamento (MRP) para a geração das ordens de produção e a determinação de suas respectivas datas de início, baseadas nos tempos de reposição; e, o procedimento para o cálculo da data de início mais tarde utilizado no nível da programação da produção, segundo o modelo proposto. Comparativamente à data de início da ordem calculada pelo MRP, a data de início mais tarde da ordem é mais precisa e deve ser sempre igual ou posterior a primeira.



Legenda:
 ... Tempos p/ Transporte, Espera e Preparação
 ... Tempo de Fabricação,

Figura 4.1. Procedimento de cálculo para a determinação da data de início planejada pelo MRP e da data de início mais tarde ao nível da programação de produção

Como resultado dessa primeira fase tem-se um primeiro resultado quanto ao carregamento de cada máquina nos diversos períodos do horizonte de planejamento. A figura 4.2 apresenta como exemplo um gráfico de carga máquina resultante dessa fase inicial de alocação de recursos para um centro de trabalho composto de 3 máquinas. Analisando-se os carregamentos a cada dia verifica-se a necessidade de realocações de ordens de produção, seja para uma outra máquina ou seja para ser produzida em um outro dia.

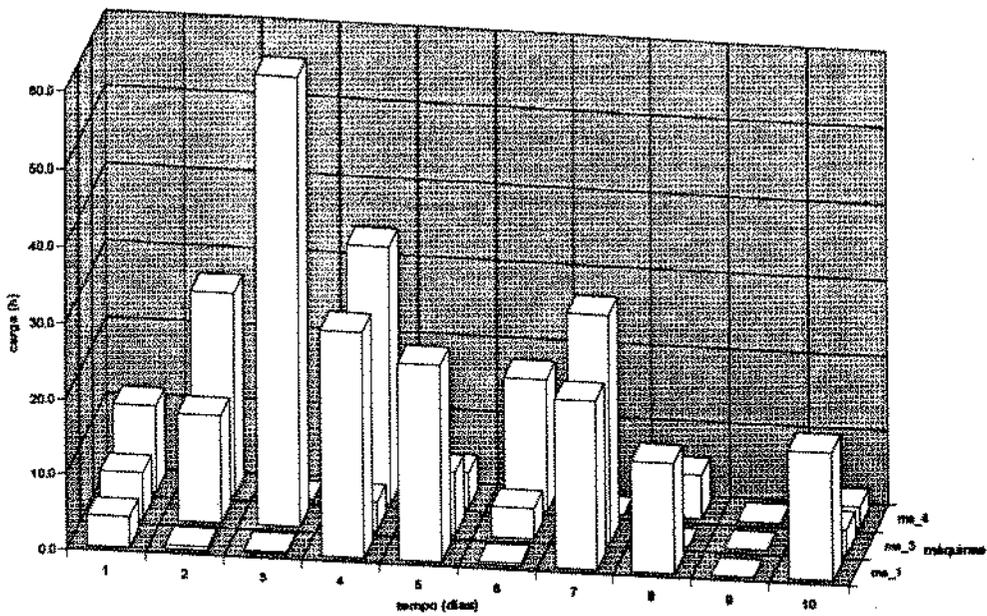


Figura 4.2. Gráfico de carga de máquina, mostrando a carga de três máquinas

Uma máquina que é preferencial para vários tipos de item pode estar, por exemplo, com um carregamento excessivo num determinado período. Neste nível de alocação de recursos, são tomadas decisões de realocações, com o objetivo de que o carregamento médio das máquinas em intervalos de planejamento, por exemplo semanais, sejam compatíveis com a capacidade de produção.

As realocações entre máquinas são feitas num processo interativo onde as decisões de realocações são tomadas pelo planejador. Tomada a decisão de qual ordem será realocada, o sistema apresenta a lista ordenada de máquinas preferenciais daquele produto, de modo que uma outra máquina da lista seja selecionada. Num processo de realocação a escolha do planejador deve recair, em princípio, sobre uma máquina cujo carregamento médio é inferior a capacidade de produção da mesma.

Resolvido o problema de balanceamento entre máquinas, o balanceamento de carga dentro de uma mesma máquina é realizado na fase de sequenciamento da produção, apresentada na seção seguinte.

4.4. Fase de Sequenciamento

Nesta fase, faz-se o sequenciamento de produção no centro de trabalho gargalo, através da simulação "para frente" do progresso das ordens de produção, considerando-se finita a capacidade de produção. Descreve-se nesta sessão a dinâmica do processo de simulação, os critérios utilizados na seleção das próximas ordens a serem sequenciadas, e o Sistema de Tomada de Decisão baseado na lógica lebulosa.

4.4.1. Dinâmica do Processo de Simulação

O processo de simulação pode ser descrito de uma forma resumida pelos seguintes passos:

- passo 0: Define-se as condições iniciais da simulação:
 - qual o último produto programado para a máquina; e,
 - o instante a partir do qual a máquina estará disponível para a programação de uma próxima ordem de produção. Este instante é definido no relógio do simulador;
- passo 1: Avaliam-se as ordens de produção candidatas ao sequenciamento, segundo os critérios de sequenciamento estabelecidos. Esta avaliação é realizada por um Sistema de Tomada de Decisão baseado em lógica nebulosa e para cada ordem é atribuído um valor de prioridade. Em seguida as ordens de produção são ordenadas em ordem decrescente de prioridade;
- passo 2: Seleciona-se a ordem de produção a qual foi atribuído o maior valor de prioridade, para ser a próxima ordem programada;
- passo 3: Faz-se a programação da ordem selecionada, determinando-se para a mesma o instante (data e hora) de início de produção. Para se atualizar o relógio do simulador, pega-se seu valor atual, a esse valor é adicionado o tempo de preparação e o tempo de fabricação da ordem de produção. Obtem-se, assim o instante de término previsto para a ordem, que corresponde ao novo instante a partir do qual a máquina estará disponível, atualizando-se o relógio do simulador.

- passo 4: Verifica-se se ainda existem ordens candidatas. Caso existam retorna-se ao passo 1, caso contrário a simulação está concluída.

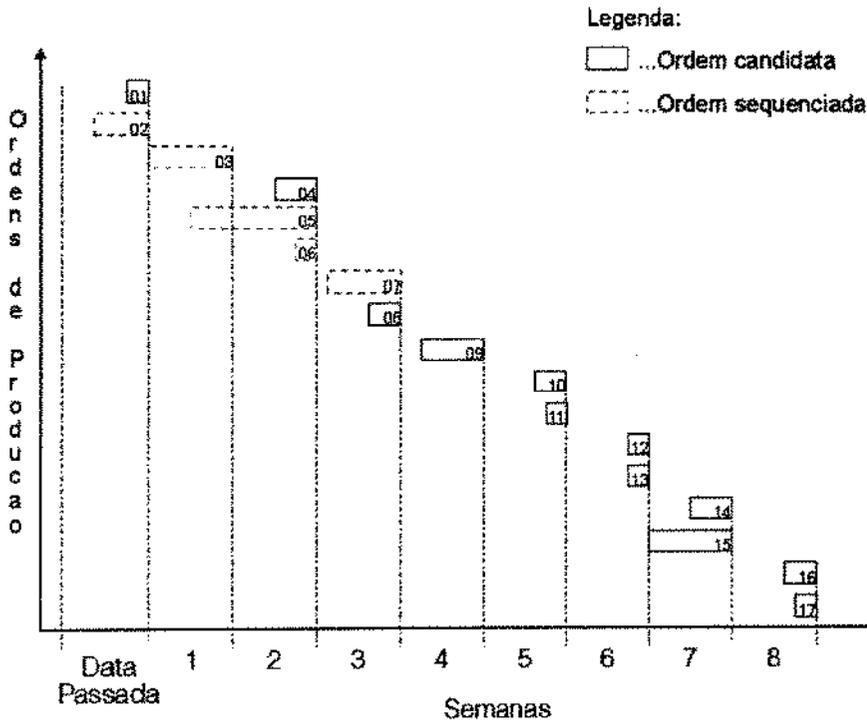
A figura 4.3 esquematiza o processo de sequenciamento, mostrando uma situação típica para o passo 1 do processo de simulação. A figura apresenta dois gráficos: o das ordens de produção candidatas ao sequenciamento, alocadas na data de início mais tarde (a) e o das ordens de produção sequenciadas (b). No gráfico do sequenciamento verifica-se que a última ordem programada foi a de número 06 e o relógio do simulador marca o instante de término dessa ordem.

4.4.2. Critérios utilizados no sequenciamento das ordens de produção

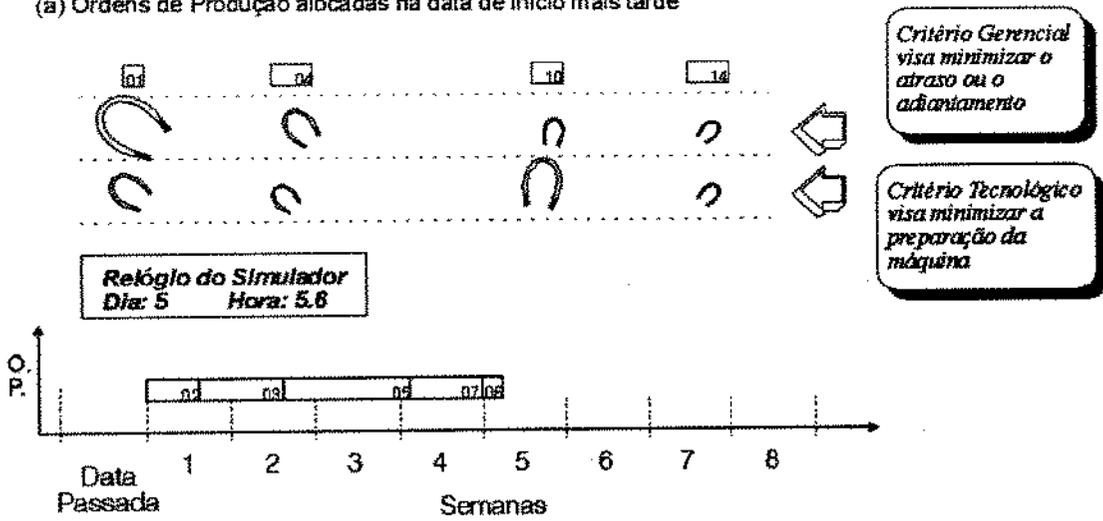
Nesta sessão descreve-se a atuação dos critérios de avaliação das ordens de produção durante o processo de sequenciamento. Sua inserção no processo de tomada decisão é descrita quando da apresentação das bases de conhecimento do Sistema de Tomada de Decisão baseado na lógica nebulosa.

Na seleção da próxima ordem a ser produzida, as ordens de produção candidatas são avaliadas segundo critérios que levam em consideração parâmetros tecnológicos e gerenciais, em consonância com os objetivos definidos para a programação de produção.

A aplicação dos critérios sobre as ordens candidatas é exemplificada de um forma esquemática na figura 4.3 através do uso de ímãs. No exemplo, entre as 12 ordens candidatas, são mostradas de uma forma simbólica a avaliação de quatro ordens de produção com diferentes datas de início mais tarde. O tamanho dos ímãs simbolizam as forças com que as ordens de produção candidatas são "atraídas" pela possibilidade de serem selecionadas como a próxima ordem a ser sequenciada. As forças de atração são uma representação simbólica de quanto cada ordem de produção estaria em consonância com os objetivos propostos, se fossem alocados no instante definido pelo relógio do simulador.



(a) Ordens de Produção alocadas na data de início mais tarde



(b) Ordens de Produção sequenciadas

Figura 4.3. Esquema da simulação do progresso das ordens de produção

Na avaliação tecnológica essa força de atração é medida pelo esforço de preparação da máquina, necessário para adequa-la à produção do produto referente a ordem candidata. Quanto menor for o esforço de preparação da máquina mais adequada será a ordem candidata ao atendimento dos objetivos tecnológicos, portanto maior será sua força de atração, sendo simbolizada na figura 4.3 por um ímã

maior. Por outro lado, quanto maior for o esforço de preparação da máquina, menos adequada será a ordem e, conseqüentemente, menor será sua força de atração, sendo simbolizada por um ímã menor.

Na avaliação gerencial essa força é composta de três componentes, descritas a seguir:

- Um dos componentes da avaliação gerencial está ligado a dimensão tempo, isto é, o instante em que a ordem de produção é programada. Neste caso, a força de atração de cada ordem é medida pela diferença entre a data do relógio do simulador e a data de início mais tarde, ou seja a distância de tempo entre a data na qual a ordem seria programada e a data ideal de fabricação. Quando o valor dessa diferença é negativo, significando que a ordem seria programada adiantada, essa força de atração é baixa, e vai aumentado suavemente até o valor dessa diferença ser zero. Quando o valor dessa diferença é positivo, significando que a ordem seria programada em atraso, a força de atração é maior, e aumenta na medida que o atraso também aumenta.
- Um segundo componente desta avaliação é puramente gerencial, dado pelo tipo de cliente que uma dada ordem deve atender. Estes são classificados em clientes preferenciais e não preferenciais. No caso de avaliação de uma ordem de um cliente preferencial, os atrasos que porventura venham a ocorrer, devem ser penalizados com maior rigor. No exemplo da figura 4.3 uma ordem candidata de um cliente preferencial, que estivesse sendo programada em atraso, teria sua força de atração aumentada, de modo a privilegiar sua escolha.
- A terceira componente da avaliação gerencial é a própria avaliação tecnológica, que é, então combinada com os outros parâmetros gerenciais para se definir a avaliação de um ordem.

Cabe justamente a avaliação gerencial combinar diferentes componentes dessa força de atração de cada ordem de produção, para dessa forma se determinar qual ordem é a mais indicada para ser a próxima ordem programada, a cada etapa do processo de sequenciamento.

4.4.3. Estrutura do Sistema de Tomada de Decisão baseado na Lógica Nebulosa

A questão que se coloca neste ponto é como, então, tratar esses diversos objetivos para selecionar a melhor entre as ordens candidatas. A solução apontada por Dobson et alli [1992], é de se transformar todos os objetivos citados em custos, tornando-se necessário levantar os custos do atraso, os custos de

estoque e custos de preparação da máquina. Dessa forma, o objetivo passaria a ser único: de minimizar a soma de todos os custos envolvidos na produção.

Esta solução envolve um trabalho muito grande para um levantamento preciso dos custos, que em muitos casos não é facilmente quantificável. O custo do atraso, por exemplo, tem em sua composição itens de fácil quantificação como o custo de se atrasar em n dias o faturamento de um dado pedido; mas tem, também, outros itens de difícil quantificação como o impacto negativo no relacionamento da empresa com seus clientes em função de atrasos na entrega dos produtos. Em termos dos custos de preparação de máquina seria muito mais difícil levantar uma matriz de custos para preparação de máquina, não só pelo grande número de itens que podem ser produzidos, como pela constante introdução de novos itens.

Estas observações tiveram como objetivo mostrar que neste caso um levantamento detalhado e preciso das informações necessárias para se estabelecer um critério único de tomada de decisão é custoso, ou seja, a informação detalhada e precisa é cara [Zadeh, 1992]. Por outro lado, a ausência dessas informações não imobiliza a gerência das empresas, que toma suas decisões baseada nos dados disponíveis, além do bom senso e da intuição. O modelo proposto neste trabalho propõe como alternativa o uso da Lógica Nebulosa no processo de tomada de decisão, e dessa forma explora sua principal característica que é a tolerância à imprecisão, minimizando o detalhamento e a precisão das informações necessárias ao processo de tomada de decisão.

O modelo propõe que a seleção dos candidatos à programação, a cada etapa do processo de simulação, seja realizada com a aplicação de um Sistema de Tomada de Decisão baseado na Lógica Nebulosa. O sistema faz, então, uma análise das ordens candidatas e seleciona aquela que melhor se adequa aos objetivos desejados.

O processo de avaliação das ordens candidatas é descrito a seguir, e está dividido em duas partes. Primeiramente se faz uma avaliação de cada ordem quanto a sua adequação aos objetivos tecnológicos, para numa segunda etapa combinar seus resultados com os objetivos gerenciais, como mostrado na figura 4.4. Nas sessões seguintes são descritas as bases de conhecimento para essas avaliações.

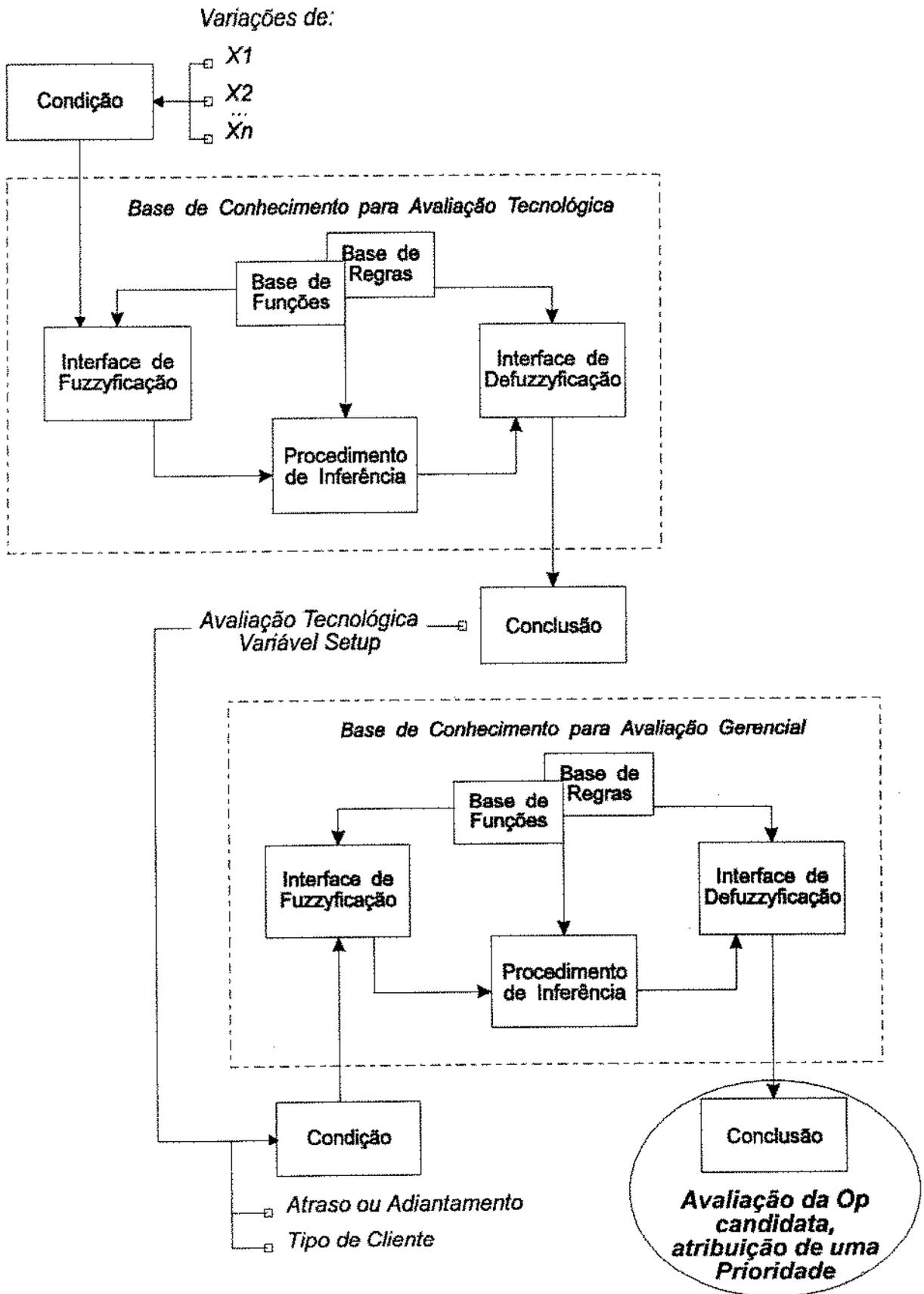


Figura 4.4. Processo de Avaliação das ordens de produção candidatas

4.4.4. Base de Conhecimento Nebulosa para a Avaliação Tecnológica

A avaliação tecnológica como mencionado anteriormente faz uma avaliação do esforço de preparação da máquina para se produzir a nova ordem de produção. No modelo propõe-se tratar as situações onde a preparação da máquina para uma nova ordem depende da ordem que está em produção. Dessa forma, a preparação da máquina é avaliada em função do esforço de mudança da configuração atual para uma nova configuração, através de variações em alguns parâmetros.

Tomando-se como exemplo a indústria metal-mecânica, o esforço de preparação da máquina é frequentemente obtido a partir do tempo de preparação. Em alguns casos, no entanto, seja pelo grande número de itens, seja por constantes modificações, não se possui uma matriz de tempos de preparação (item que entra vs. item que sai). Neste caso o esforço de preparação pode ser avaliado com base nas ferramentas e dispositivos a serem trocados. Na indústrias química ou de alimentos este esforço pode ser representado pela dificuldade de limpeza do equipamento, etc.. Na indústria de plásticos um dos parâmetros da preparação da máquina envolve a variação de cor entre produto que entra vs. produto que sai, implicando uma limpeza da máquina, e/ou a troca de molde (injeção), ou ajuste do dispositivo (extrusão).

Enfim, a preparação da máquina pode ser representada por um ou vários parâmetros, sendo necessário empreender diferentes esforços em cada um desses parâmetros, para assim caracterizar a preparação da máquina.

A base de conhecimento do Sistema de Tomada de Decisão para a Avaliação Tecnológica é composta de uma base de regras e uma base de funções. A base de funções é composta pelas grandezas que expressam as condições e a conclusão da avaliação tecnológica. As grandezas envolvidas nas condições são as variações dos parâmetros do processo de fabricação, que definem o esforço de preparação da máquina, $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$, representadas no sistema pelas variáveis linguísticas denominadas $delX_1, delX_2, \dots, delX_i, \dots, delX_n$, respectivamente. Para cada uma dessas variáveis propõe-se a criação de quatro partições nebulosas, que expressam variações mínimas, baixas, médias e altas.

A figura 4.5 representa graficamente as funções de pertinência dos termos linguísticos da variável $delX_i$. A variação mínima de X_i , tem o seu ponto de amplitude máxima em zero, isto é, a função

de pertinência do conceito de variação mínima atinge seu valor máximo quando não há variação. Os conceitos de variação baixa e média atingem seus valores máximos em x_a e x_b , respectivamente. O conceito de variação alta atinge seu valor máximo com variações a partir de x_c .

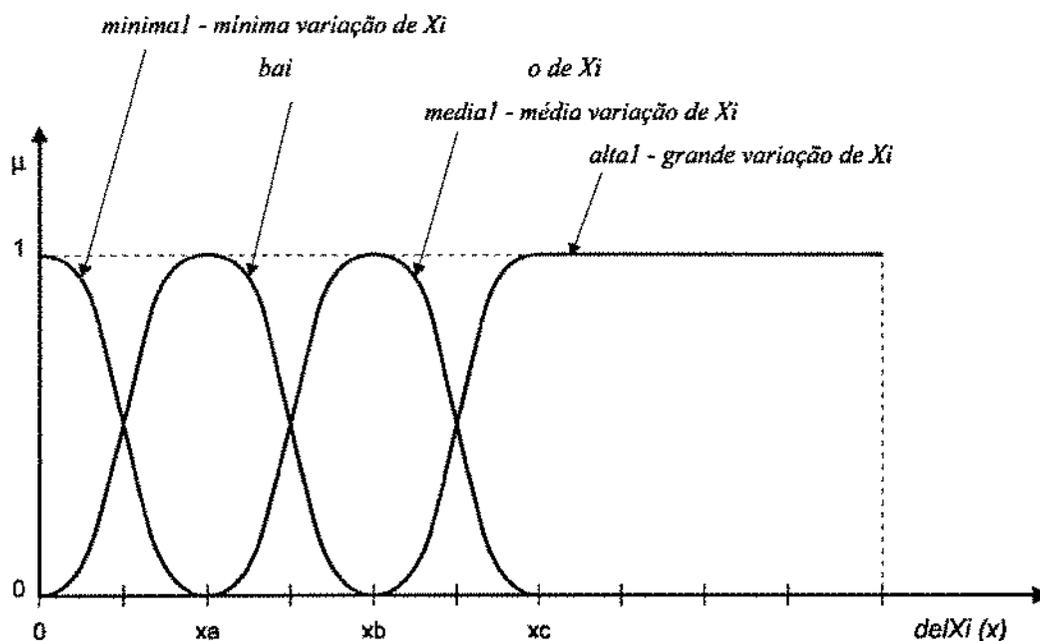


Figura 4.5. Representação gráfica da variável lingüística $delXi$, onde x é a dimensão que expressa as variações de X_i

A conclusão da avaliação tecnológica do STD é uma nota entre 0 e 100, atribuída a uma variável lingüística *setup*. Para esta variável propõe-se a criação de 5 partições nebulosas, definidas pelos seguintes conceitos: *pessimo*, *fraco*, *regular*, *bom* e *otimo*, que atingem seus valores de amplitude máxima em 0, 25, 50, 75 e 100, respectivamente, representadas graficamente na figura 4.6.

Observa-se que a conclusão da avaliação tecnológica expressa através de um conceito torna-se, dessa forma, independente do processo de fabricação. A avaliação tecnológica depende do processo, mas não a conclusão da avaliação.

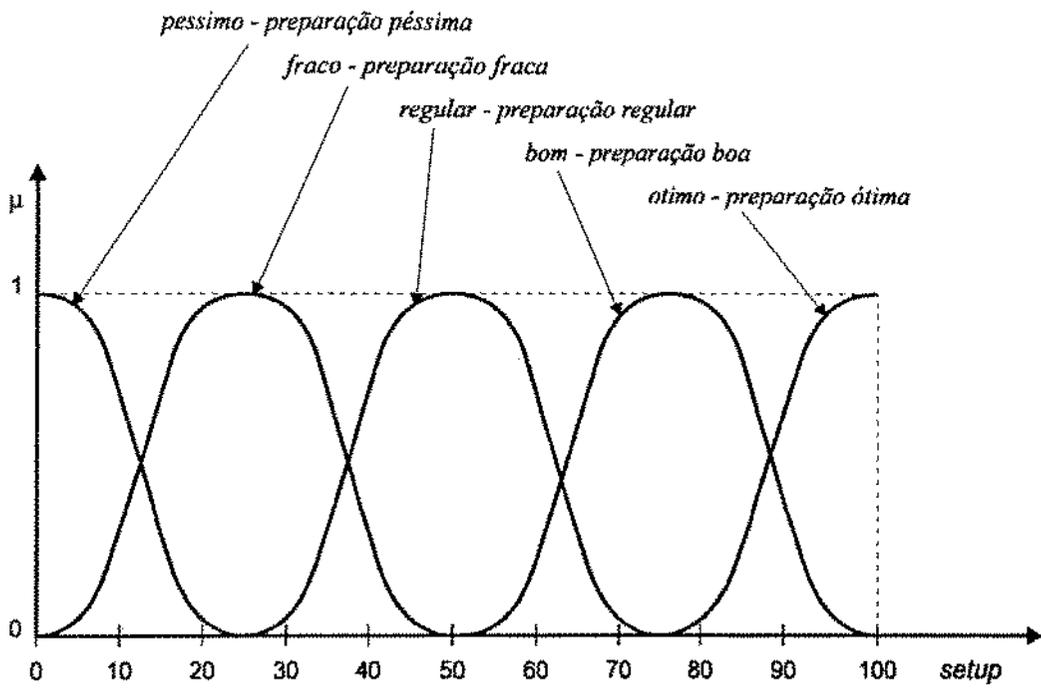


Figura 4.6. Representação gráfica da variável linguística *setup*

A base de regras do sistema é formada por um conjunto de regras para a avaliação tecnológica das ordens candidatas, com a atribuição de valores de *setup*, para todas as combinações dos conceitos das variações (Δ) de X_1, X_2, \dots, X_n . A tabela 4.1 apresenta, como exemplo, uma tabela verdade preenchida para uma situação de um processo de fabricação com 2 parâmetros X_1 e X_2 , que definem o esforço da preparação de máquina, cobrindo todas as combinações possíveis.

Tabela 4.1. Valores de *Setup*

ΔX_1	$\Delta X_2 - delx_2$			
<i>delx1</i>	<i>minima2</i>	<i>baixa2</i>	<i>média2</i>	<i>alta2</i>
<i>minimal</i>	<i>otimo</i>	<i>otimo</i>	<i>bom</i>	<i>regular</i>
<i>baixal</i>	<i>bom</i>	<i>bom</i>	<i>regular</i>	<i>fraco</i>
<i>medial</i>	<i>bom</i>	<i>regular</i>	<i>fraco</i>	<i>fraco</i>
<i>altal</i>	<i>regular</i>	<i>fraco</i>	<i>pessimo</i>	<i>pessimo</i>

Para o exemplo citado na tabela 4.1, a tabela 4.2 apresenta um resumo com algumas regras, da base de regras do Sistema de Tomada de Decisão para a avaliação tecnológica.

Tabela 4.2. Base de regras resumida para a avaliação tecnológica

<i>PREPROCESSAMENTO</i>
{ fuzzyfica(X1); fuzzyfica(X2); }
<i>META REGRAS</i>
SE X1 e' minima1 E X2 e' minima2 ENTÃO setup = otimo; SE X1 e' minima1 E X2 e' baixa2 ENTÃO setup = otimo; SE X1 e' minima1 E X2 e' media2 ENTÃO setup = bom; SE X1 e' minima1 E X2 e' alta2 ENTÃO setup = regular; SE X1 e' baixa1 E X2 e' minima2 ENTÃO setup = bom; SE X1 e' baixa1 E X2 e' baixa2 ENTÃO setup = bom; SE X1 e' baixa1 E X2 e' media2 ENTÃO setup = regular; SE X1 e' baixa1 E X2 e' alta2 ENTÃO setup = fraco;
<i>POSPROCESSAMENTO</i>
{ defuzzyfica(setup); }

4.4.5. Base de Conhecimento Nebulosa para a Avaliação Gerencial

A base de funções do Sistema de Tomada de Decisão para a Avaliação Gerencial é composta pelas grandezas que expressam as condições e a conclusão. As grandezas envolvidas nas condições são a variável *setup*, resultante da avaliação tecnológica, a diferença entre a data de início mais tarde da ordem candidata e o relógio do simulador, representada no sistema pela variável linguística denominada *emfase* e o tipo de cliente, preferencial ou não preferencial. A variável *setup* tem a mesma representação nas duas bases de conhecimento.

Para a variável *emfase* propõe-se a criação de uma partição nebulosa fina, composta de sete termos linguísticos. A figura 4.7 representa graficamente as funções de pertinência dos termos linguísticos da variável *emfase*.

Quando a variável *emfase* assume um valor negativo, significa que a ordem de produção candidata seria programada adiantada em relação a data de início mais tarde. Os adiantamentos foram divididos em três conceitos: *adiantpq*, *adiantmd* e *adiantgr*. Os conceitos *adiantpq* e *adiantmd* atingem seus valores de amplitude máxima em -2 e -4 dias, respectivamente, e o conceito *adiantgr* atinge seu valor de amplitude máxima a partir de -6 dias. Quando a variável *emfase* assume um valor positivo, significa que a ordem de produção candidata seria programada atrasada em relação a data de início mais tarde. Os atrasos foram divididos em três conceitos: *atrasopq*, *atrasomd* e *atrasogr*. Os conceitos *atrasopq* e *atrasomd* atingem seus valores de amplitude máxima em 2 e 4 dias, respectivamente, e o conceito *atrasogr* atinge seu valor de amplitude máxima a partir de 6 dias. Quando a variável *emfase* assume o valor zero, significa que a ordem de produção candidata seria programada na data de início mais tarde, portanto zero é o ponto onde o conceito de *iniciomt* atinge seu valor de amplitude máxima.

Tanto o número de termos da partição linguística como a função de pertinência associada a cada termo é configurável, e deve ser ajustada para melhor modelar o sistema de produção em que será aplicada.

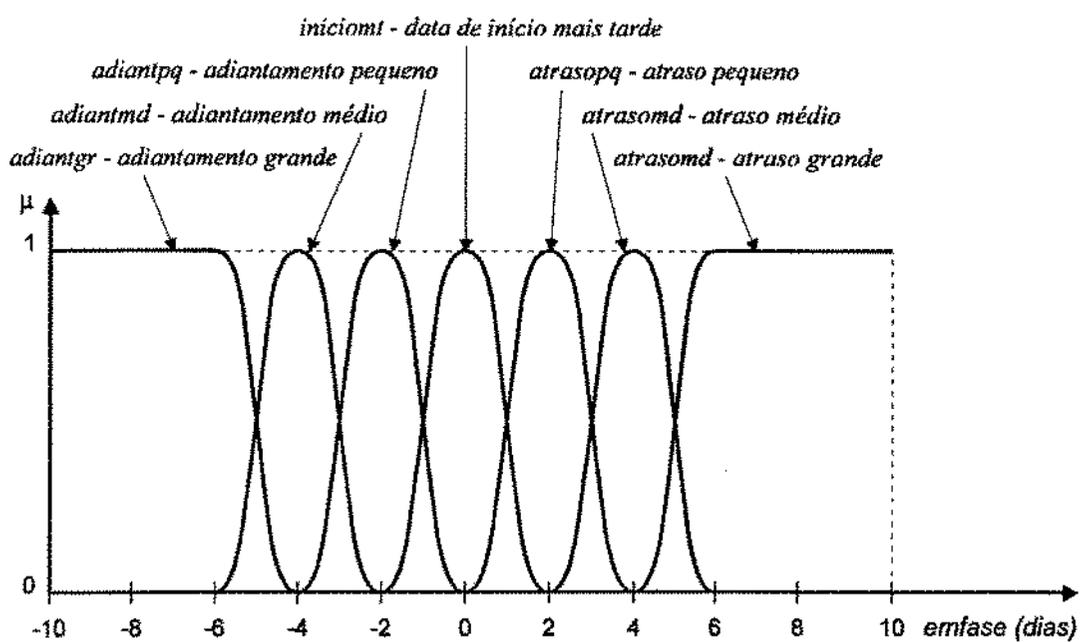


Figura 4.7. Representação gráfica da variável linguística *ênfase*

A conclusão da avaliação gerencial do STD é uma nota entre 0 e 100, atribuída a uma variável linguística *priorid*. A figura 4.8 representa graficamente os termos linguísticos associados à variável *priorid*. Os conceitos são: *muito baixa*, *baixa*, *média*, *alta* e *muito alta*, e atingem seus valores de amplitude máxima em 0, 25, 50, 75 e 100, respectivamente.

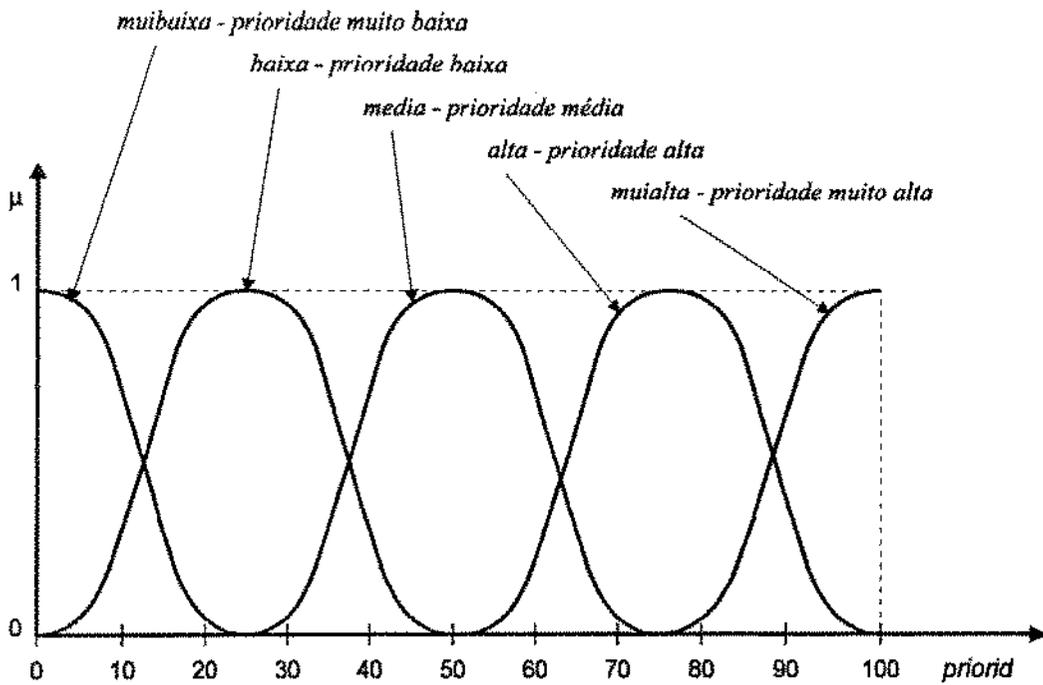


Figura 4.8. Representação gráfica da variável linguística *priorid*

A base de regras do sistema é formada por um conjunto de regras para a avaliação gerencial dos candidatos, com a atribuição de valores de prioridade, para todas as combinações dos conceitos das variações das variáveis *ênfase*, *setup* e *tipo de cliente*. Essa atribuição foi realizada com o preenchimento das tabelas verdade 4.3 e 4.4, que cobrem todas as combinações possíveis.

Tabela 4.3. Valores de Prioridade para clientes preferenciais

<i>Ênfase</i>	<i>Setup</i>				
	<i>peSSimo</i>	<i>fraco</i>	<i>regular</i>	<i>bom</i>	<i>ótimo</i>
<i>Adiantgr</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>
<i>Adiantmd</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>	<i>baixa</i>	<i>baixa</i>
<i>Adiantpq</i>	<i>muibaixa</i>	<i>baixa</i>	<i>media</i>	<i>media</i>	<i>media</i>
<i>iniciomt</i>	<i>media</i>	<i>media</i>	<i>alta</i>	<i>alta</i>	<i>muialta</i>
<i>atrasopq</i>	<i>alta</i>	<i>alta</i>	<i>muialta</i>	<i>muialta</i>	<i>muialta</i>
<i>atrasomd</i>	<i>muialta</i>	<i>muialta</i>	<i>muialta</i>	<i>muialta</i>	<i>muialta</i>
<i>atrasogr</i>	<i>muialta</i>	<i>muialta</i>	<i>muialta</i>	<i>muialta</i>	<i>muialta</i>

Tabela 4.4. Valores de Prioridade para clientes não preferenciais.

<i>Êmfase</i>	<i>Setup</i>				
	<i>pessimo</i>	<i>fraco</i>	<i>regular</i>	<i>bom</i>	<i>ótimo</i>
<i>Adiantgr</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>
<i>Adiantmd</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>	<i>baixa</i>
<i>Adiantpq</i>	<i>muibaixa</i>	<i>muibaixa</i>	<i>baixa</i>	<i>media</i>	<i>media</i>
<i>iniciomt</i>	<i>baixa</i>	<i>baixa</i>	<i>media</i>	<i>alta</i>	<i>alta</i>
<i>atrasopq</i>	<i>media</i>	<i>media</i>	<i>alta</i>	<i>alta</i>	<i>muialta</i>
<i>atrasomd</i>	<i>media</i>	<i>alta</i>	<i>alta</i>	<i>muialta</i>	<i>muialta</i>
<i>atrasogr</i>	<i>alta</i>	<i>alta</i>	<i>muialta</i>	<i>muialta</i>	<i>muialta</i>

A tabela 4.5 apresenta um resumo com algumas regras, da base de regras do Sistema de Tomada de Decisão para a avaliação gerencial.

Tabela 4.5. Base de regras resumida para a avaliação gerencial

<i>PREPROCESSAMENTO</i>	
<pre>{ fuzzyfica(setup); fuzzyfica(emfase); }</pre>	
<i>META REGRAS</i>	
#GRUPO PREFERENCIAL	# GRUPO_NAO_PREFERENCIAL
SE emfase e' adiantgr ENTÃO priorid = muibaixa;	SE emfase e' adiantgr ENTÃO priorid = muibaixa;
SE emfase e' adiantmd E setup e' pessimo ENTÃO priorid = muibaixa;	SE emfase e' adiantmd E setup e' pessimo ENTÃO priorid = muibaixa;
SE emfase e' adiantmd E setup e' fraco ENTÃO priorid = muibaixa;	SE emfase e' adiantmd E setup e' fraco ENTÃO priorid = muibaixa;
SE emfase e' adiantmd E setup *e' regular ENTÃO priorid = muibaixa;	SE emfase e' adiantmd E setup e' regular ENTÃO priorid = muibaixa;
SE emfase e' adiantmd E setup e' bom ENTÃO priorid = baixa;	SE emfase e' adiantmd E setup e' bom ENTÃO priorid = muibaixa;
SE emfase e' adiantmd E setup e' otimo ENTÃO priorid = baixa;	SE emfase e' adiantmd E setup e' otimo ENTÃO priorid = baixa;
<i>POSPROCESSAMENTO</i>	
<pre>{ defuzzyfica(priorid); }</pre>	

4.4.6. Fronteira de Carregamento

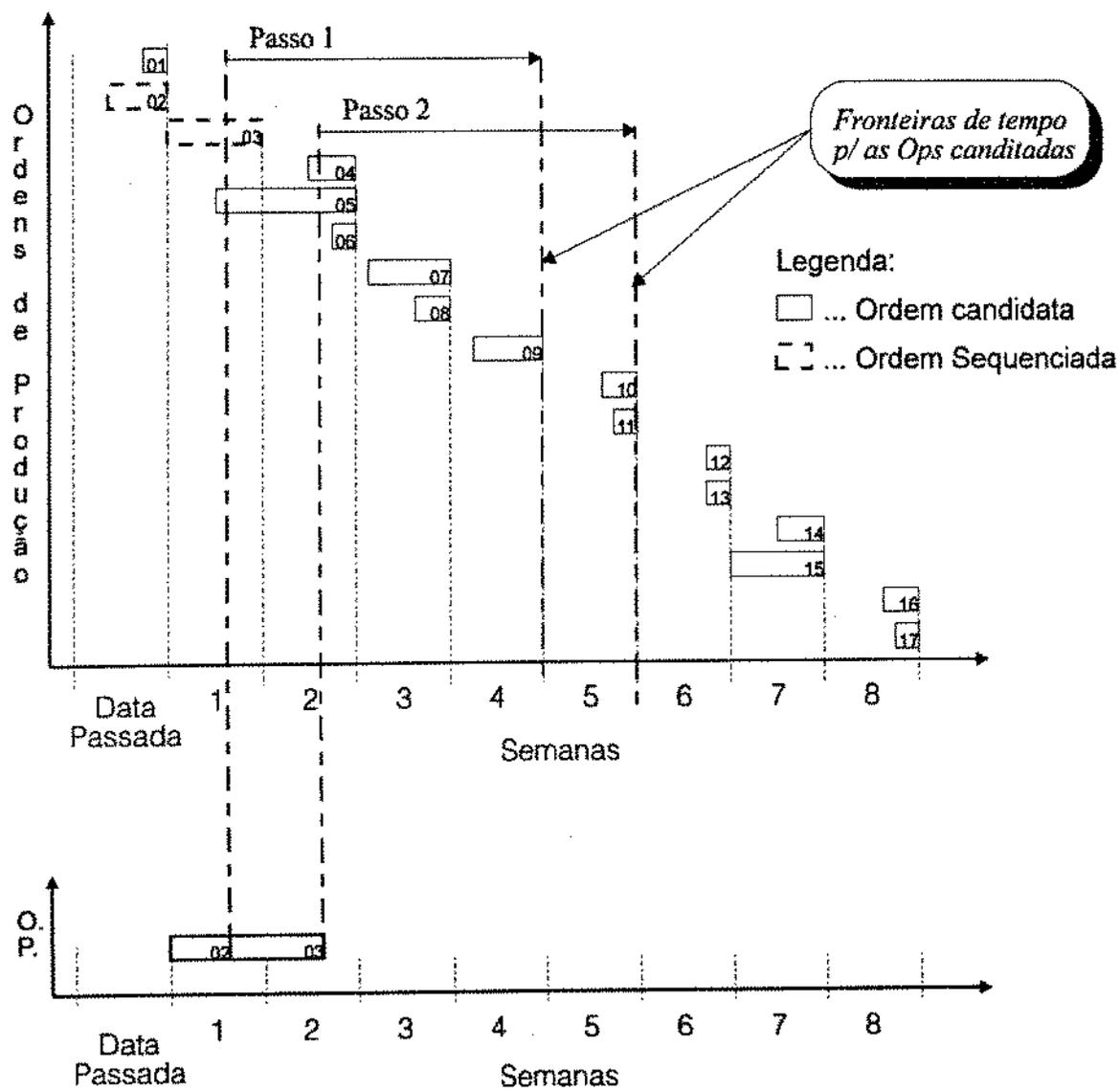
No processo de simulação, a cada etapa é escolhida, entre as candidatas, uma ordem de produção a ser programada. Dentre as ordens candidatas, aquelas cuja data de início mais tarde for posterior em, por exemplo, mais de 6 dias à data do relógio do simulador, vão ter como o conceito dominante o adiantamento grande da variável *emfase*. Conseqüentemente, em função da avaliação gerencial, devem resultar numa prioridade bastante baixa.

Dessa forma, em função da baixa possibilidade de estas ordens serem selecionadas, o melhor é evitar o trabalho de avaliação, resultando num menor número de avaliações a cada etapa do processo de simulação. A figura 4.9 ilustra a dinâmica de demarcação da fronteira de carregamento a cada etapa do processo de simulação.

A figura 4.10 ilustra um outro efeito da fronteira de carregamento no processo de simulação "para frente". Pode acontecer de não haver mais ordens de produção candidatas dentro do período demarcado pela fronteira de carregamento. Nesse caso o processo de simulação é interrompido, sugerindo ao planejador uma parada de máquina. O adiantamento das ordens candidatas que estão após a fronteira geraria a programação de ordens com adiantamentos muito grandes, contradizendo o objetivo de minimização do estoque de produtos.

O estabelecimento da fronteira de carregamento foi a fórmula encontrada para atender aos objetivos de minimização dos estoques. Pois no processo de simulação "para frente", quando existem poucas ordens de produção a serem programadas, a tendência da simulação é adiantar as ordens de produção mesmo que suas prioridades sejam baixas, programando a que tiver maior prioridade.

Essa tendência da simulação "para frente" é positiva para equipamentos, que operam em elevadas temperaturas de operação. Devido ao tempo de aquecimento necessário para o equipamento entrar em regime, é interessante uma operação contínua, mesmo com um trazendo um adiantamento, desde que aceitável, para as ordens de produção. Quando esse adiantamento torna-se maior, entra em cena a fronteira de carregamento estabelecendo um parâmetro de controle para o processo de simulação, sugerindo uma parada de máquina.



Passo 1: Ops candidatas: 01, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09

Passo 2: Ops candidatas: 01, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11

Figura 4.9. Conceito de Fronteira de Tempo aplicado às ordens de produção candidatas

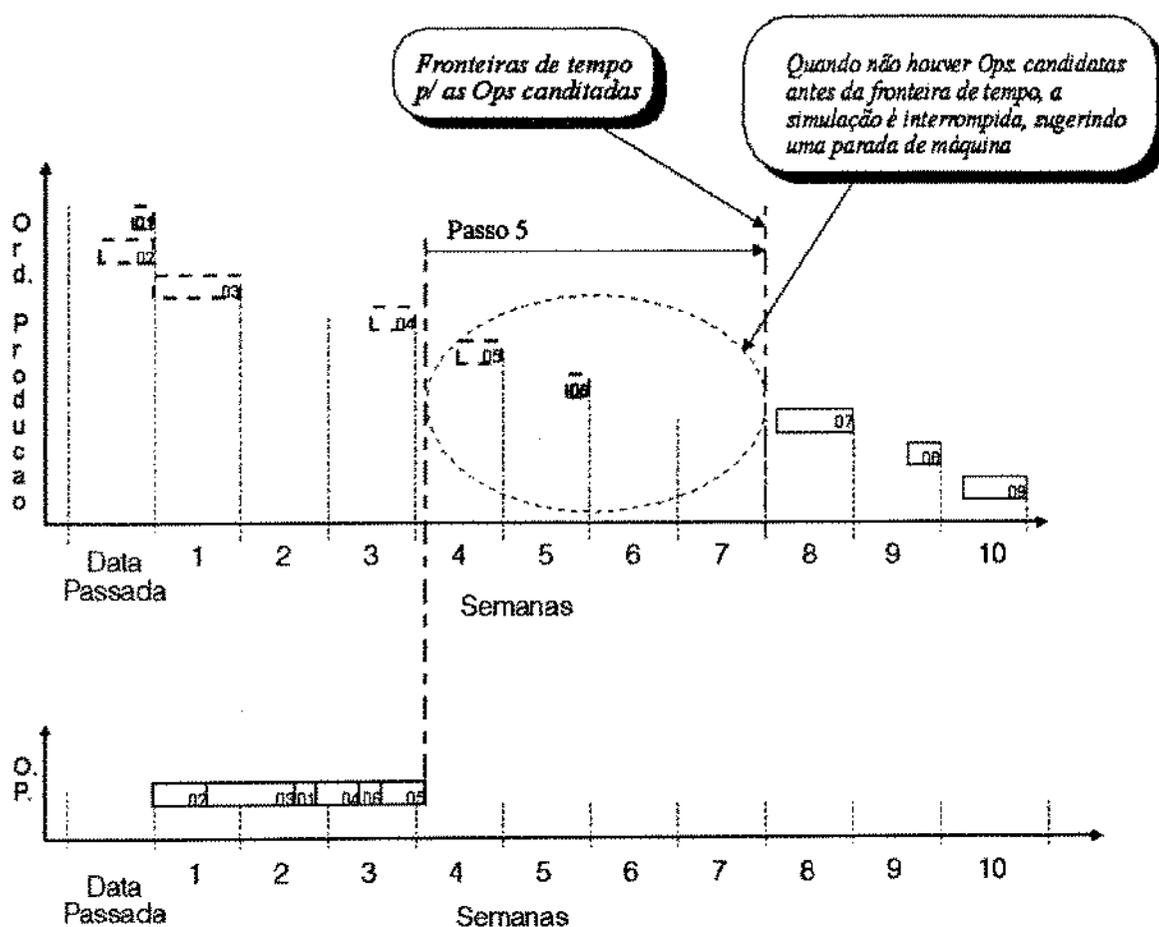


Figura 4.10. O uso da Fronteira de Carregamento com o parâmetro de controle da simulação

4.5. Comentários

Neste capítulo foi apresentado o modelo proposto neste trabalho. Foram descritos os objetivos da programação da produção, o modelo proposto para se construir a programação de produção, a dinâmica do processo de simulação, os critérios de sequenciamento e sua aplicação.

Em seguida, foi apresentada a estrutura do Sistema de Tomada de Decisão baseado na lógica nebulosa, descrevendo-se as bases de conhecimento para a avaliação tecnológica e gerencial.

A base de conhecimento para avaliação tecnológica depende do processo de fabricação do sistema de produção, no qual o modelo será aplicado. Sendo, então, necessário o levantamento dos parâmetros que definem a preparação da máquina, a fim de se definir a base de funções e a base de regras para viabilizar o processo de avaliação.

A avaliação gerencial independe do processo de fabricação, mas a base de conhecimento deve ser ajustada para melhor modelar o sistema de produção. Esse ajuste diz respeito às funções que definem os conceitos de adiantamento e atraso e, também, as regras que definem a prioridade, na avaliação das ordens candidatas.

No capítulo seguinte, descreve-se a implementação computacional do modelo proposto e sua aplicação numa empresa de manufatura de plásticos laminados, realizada com o objetivo de validar o modelo.

Capítulo 5

Implementação do Sistema, Teste e Resultados

Neste capítulo descreve-se o sistema de produção no qual o modelo apresentado no capítulo 4 foi testado e validado, sua implementação computacional em um sistema de programação finita baseado na lógica nebulosa, além dos resultados de programações de produção realizadas.

Inicialmente, descreve-se as características do sistema de produção, com relação aos tipos de produto, processos de fabricação e aos parâmetros definidos para a avaliação de preparação da máquina; o ambiente computacional da implantação do sistema; e, a base de conhecimento para a avaliação tecnológica.

Em seguida, descreve-se a implementação computacional apresentando-se o nível de alocação de recursos e as opções de realocação deste nível. Em seguida, apresenta-se o nível de sequenciamento, mostrando-se as várias opções de se fazer o sequenciamento da produção disponíveis ao planejador.

Para se validar o modelo são geradas quatro programações de produção. As duas primeiras baseadas em regras convencionais como o SPT (menor tempo de processamento) e a EDD (menor prazo de entrega), uma terceira correspondendo a programação efetivamente realizada na empresa, e a quarta a programação baseada na lógica nebulosa. Na comparação do desempenho das técnicas utilizam-se parâmetros que definem o esforço de preparação de máquina, bem como os atrasos e a geração de estoque de produtos.

5.1. Características da Empresa onde o Modelo foi Implantado

O sistema foi implantado na empresa Plásticos Metalma S/A, uma empresa do setor de plásticos laminados. Descreve-se nesta seção principais características de seu sistema de produção e, em seguida, o ambiente computacional onde o sistema foi implementado.

5.1.1. Características do Sistema de Produção

O principal processo de fabricação é a extrusão e laminação do plástico em uma máquina extrusora. Nesta máquina, os cilindros de laminação estão posicionados após o dispositivo de extrusão. Os produtos obtidos nesse processo são chapas ou bobinas de plástico, com muitas variações possíveis em termos de cor e dimensões (espessura, largura e comprimento). Alguns produtos, denominados moldados, passam posteriormente por um processo de termoformagem à vácuo (moldagem) e acabamento. A figura 5.1 apresenta de uma forma esquemática o fluxo de materiais na fábrica.

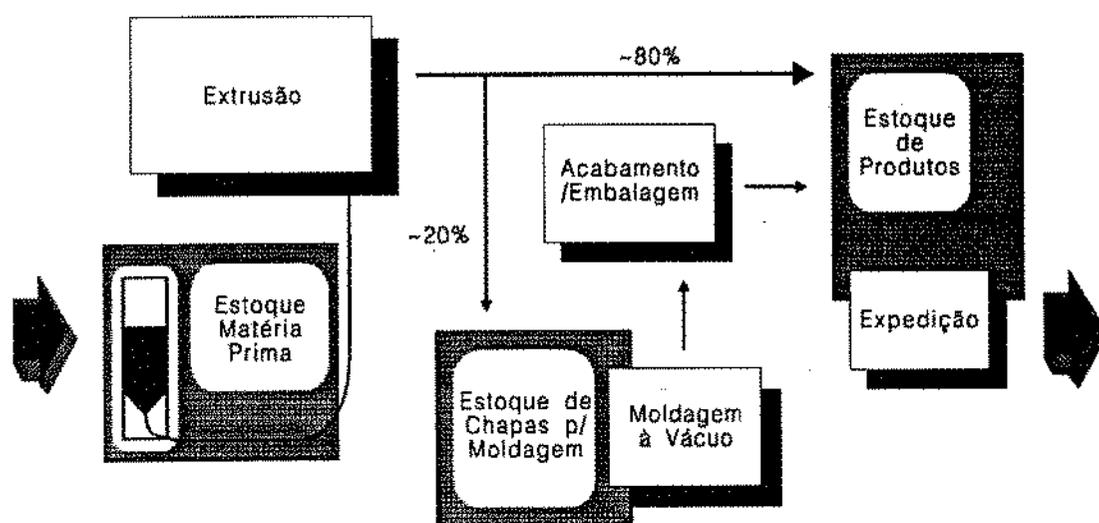


Figura 5.1. Esquema do fluxo de materiais na fábrica

Os vários produtos da empresa, sejam eles chapas, bobinas ou moldados, possuem uma estrutura bastante simples, composto de poucos itens. A figura 5.2 apresenta um esquema das estruturas de produto da empresa, caracterizando os produtos e os materiais que os compõem.

A empresa trabalha com produção sob encomenda, sendo o produto final caracterizado por uma chapa ou bobina com variações de espessura, largura, comprimento (no caso de chapas), cor (~50), brilho, filme(~8) e a textura da chapa (3), podendo-se obter um número enorme de diferentes combinações. O número de produtos cadastrados passa de mil, obtidos a partir de um número bastante reduzido de matérias primas.

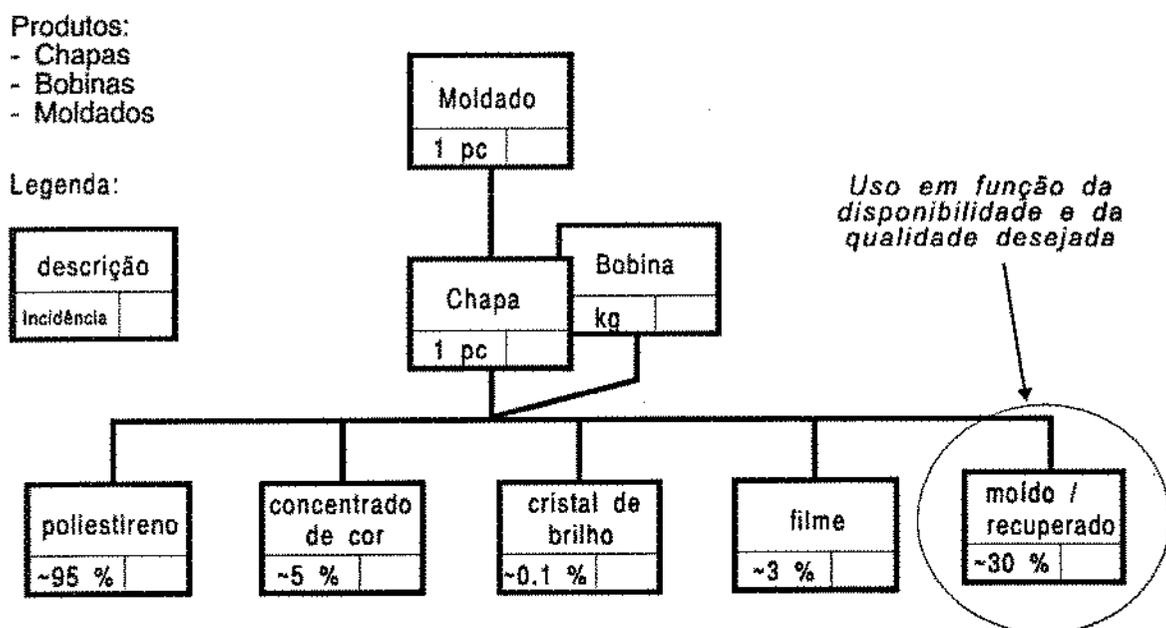


Figura 5.2. Esquema da estrutura dos produtos

A demanda tem um comportamento bastante dinâmico, com muitas variações. A empresa atende em torno de 400 pedidos de clientes ao mês. As datas de entrega tem maior incidência na primeira quinzena de cada mês, mas existe um fluxo constante de entrada de novos pedidos e eventuais alterações.

Nesse ambiente de produção, as atenções do planejador de produção estão voltadas principalmente para o planejamento do uso das máquinas extrusoras, por onde flui toda a produção da empresa. Seja devido ao alto custo do investimento, seja pelo fato de em situações normais de mercado as extrusoras trabalham com sobrecarga, trazendo como consequência o fato de muitos pedidos serem entregues após a data prevista.

Dentro desse quadro o objetivo da programação de produção é otimizar o uso desse recurso escasso que são as extrusoras. Os objetivos a serem perseguidos são:

- a minimização da preparação de máquina;

- a minimização dos atrasos em relação às datas de entrega dos pedidos; e,
- a minimização do estoque de produtos.

A preparação de máquina depende das características do produto que está sendo produzido e do próximo produto a entrar em produção na máquina. Os parâmetros determinantes na preparação da máquinas são:

- Cor; quanto maior for a variação de cor mais desfavorável será a preparação da máquina e maior a quantidade de material a ser reciclado; e,
- Espessura e largura; variações das dimensionais entre produtos, que geram um trabalho de ajuste do dispositivo de extrusão.

Portanto, em termos de preparação da máquina, o objetivo é minimizar as variações de cor, assim como as variações de espessura e largura do dispositivo de extrusão.

O cumprimento das datas de entrega acordadas define o nível de atendimento aos clientes. No caso dos clientes preferenciais as tolerâncias ao atraso são menores, podendo ocasionar parada em suas linhas de montagem.

Para se reduzir os estoques o produto deve ser fabricado o mais tarde possível respeitando a data de entrega dos pedidos. Dessa forma, o material vai ficar o menor tempo possível armazenado no estoque de produtos. Por outro lado, visa também, resguardar a empresa quanto as alterações, seja em termos de data de entrega ou quantidade do produto, ou mesmo quanto aos cancelamentos dos pedidos de venda. O uso da matéria prima é otimizado, pois só é utilizado o material que realmente vai ser vendido, no menor tempo possível.

5.1.2. Ambiente Computacional

A empresa Plásticos Metalma S/A dispõe de uma estrutura computacional formada por uma rede Novell, com aproximadamente 20 (vinte) micro computadores PCs 286, 386 e 486. Tem implantado na rede um sistema de base de dados corporativo da empresa MICROSIGA, responsável pelo processamento dos dados administrativos e contábeis.

Nesse ambiente foi implementado o modelo proposto neste trabalho. A figura 5.3 apresenta de uma forma esquemática a arquitetura dos sistemas afetos a produção e seus principais módulos. A figura 5.3 está dividida em três áreas: Vendas, Planejamento Programação e Controle de Produção (PPCP) e o Chão de Fábrica, que serão descritas a seguir. Na área de vendas são utilizados entre outros, os módulos do sistema da MICROSIGA para o cadastramento de pedidos de venda e de produtos. Estas informações são posteriormente partilhadas com os sistemas de suporte ao PPCP.

No PPCP são, inicialmente, geradas as ordens de produção a partir das informações do cadastro de pedidos de venda e de produtos, através do módulo de planejamento de necessidades de materiais (MRP). A execução do MRP, neste caso, é simplificada seja pela existência de um número reduzido de níveis na estrutura de produtos, seja pelo fato das matérias primas serem controladas por ponto de reposição. Por outro lado, como a demanda é muito dinâmica e a cada dia diversos pedidos novos são cadastrados, o MRP é executado pelo menos duas vezes ao dia. Para responder a essa necessidade o MRP é do tipo "mudança líquida", cuja característica principal é a de somente planejar as ordens de produção referentes aos pedidos novos ou alterados. Esta característica permite que o MRP seja executado várias vezes ao dia, em função de seu tempo de execução ser pequeno (~ 2 minutos).

O módulo de ordens de produção permite fazer alterações, quando necessárias, nas ordens de produção planejadas pelo MRP e permite, também, uma consulta completa das ordens de produção e dos pedidos de venda, evidenciando seus relacionamentos (*pegging*).

No módulo de controle de chão de fábrica são preparados os documentos que são enviados ao chão de fábrica, como Boletins (ordens) de Produção e de Expedição. Uma vez executadas as tarefas, a documentação preenchida à nível do chão de fábrica, é enviada ao PPCP para um procedimento de aquisição de dados, de modo a manter atualizada a base de dados do sistema. Atualmente o fluxo de

informações no chão de fábrica se dá através do fluxo de documentos, não fazendo ainda parte da rede de micro computadores.

A figura 5.3 esquematiza o fluxo de informações necessárias à programação finita, mostrando as interligações com a base de dados de produtos, com o MRP e Controle de Chão de Fábrica. O módulo de programação finita, como descrito no modelo proposto no capítulo 4 é executado em dois níveis: a alocação de recursos e o sequenciamento da produção.

Em face da estrutura computacional disponível, a programação da produção é realizada no PPCP e a sequência das operações é passada para o chão de fábrica através de relatórios ou até verbalmente.

A base de conhecimento para a avaliação tecnológica, especificada para aplicação nesse ambiente de produção e utilizada no sequenciamento da produção, é descrita a seguir.

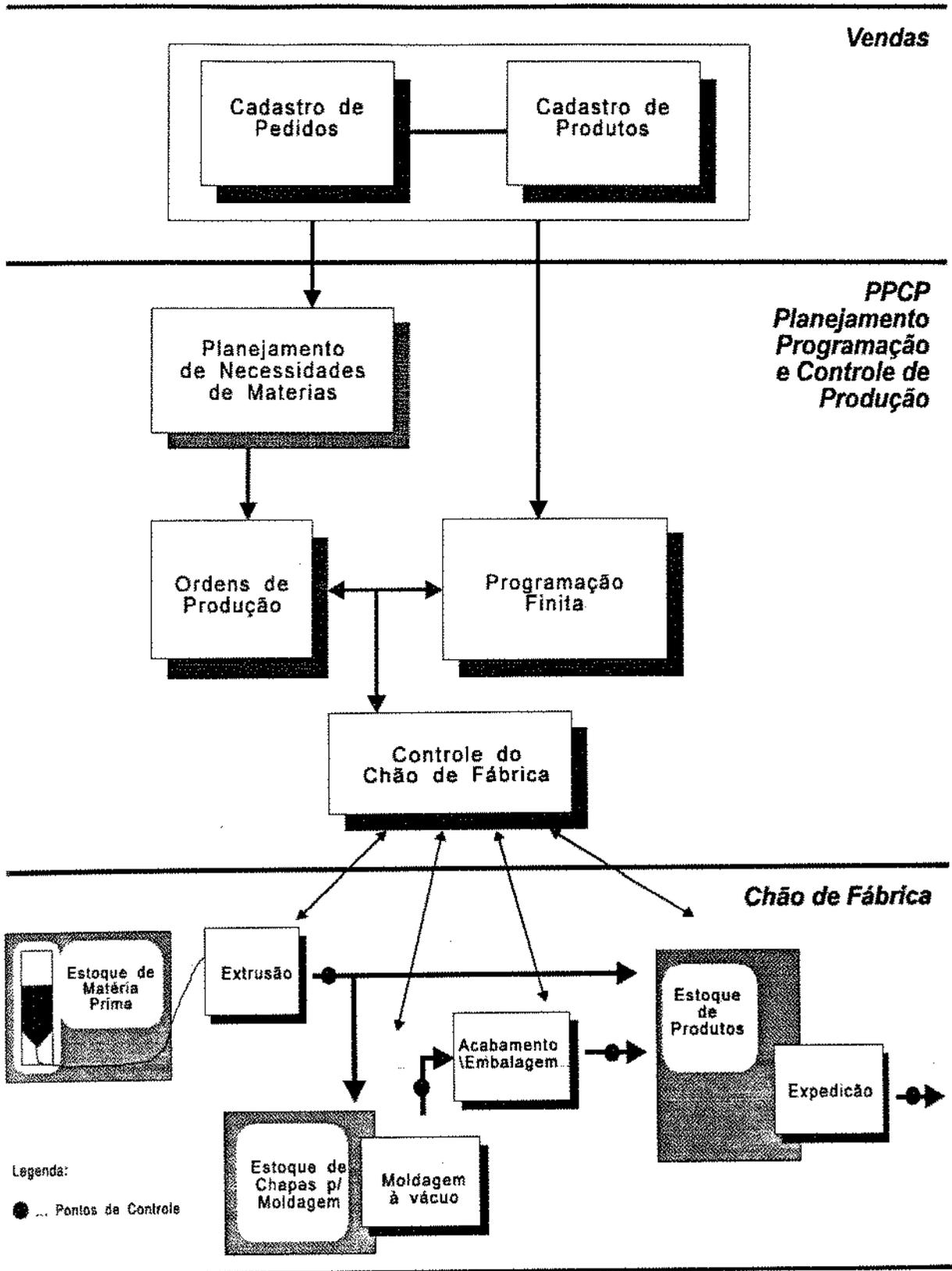


Figura 5.3. Arquitetura do Sistema de Programação Finita implementado

5.1.3. Base de Conhecimento Nebulosa para a Avaliação Tecnológica

A base de funções do Sistema de Tomada de Decisão para a Avaliação Tecnológica é composta pelas grandezas que expressam as condições e a conclusão. As grandezas envolvidas nas condições são as variações de espessura, largura e cor, representadas no sistema pelas variáveis linguísticas denominadas *delesp*, *dellarg* e *delcor*, respectivamente. Para cada uma dessas variáveis foram criadas quatro partições nebulosas, que expressam variações mínimas, baixas, médias e altas.

A figura 5.4 representa graficamente as funções de pertinência dos termos linguísticos da variável *delesp*. A variação mínima de espessura, tem o seu ponto de amplitude máxima em zero, isto é, a função de pertinência do conceito de variação mínima atinge seu valor máximo quando não há variação. Os conceitos de variação baixa e média atingem seus valores máximos em 2 e 4 mm, respectivamente. O conceito de variação de espessura alta atinge seu valor máximo com variações a partir de 6 mm.

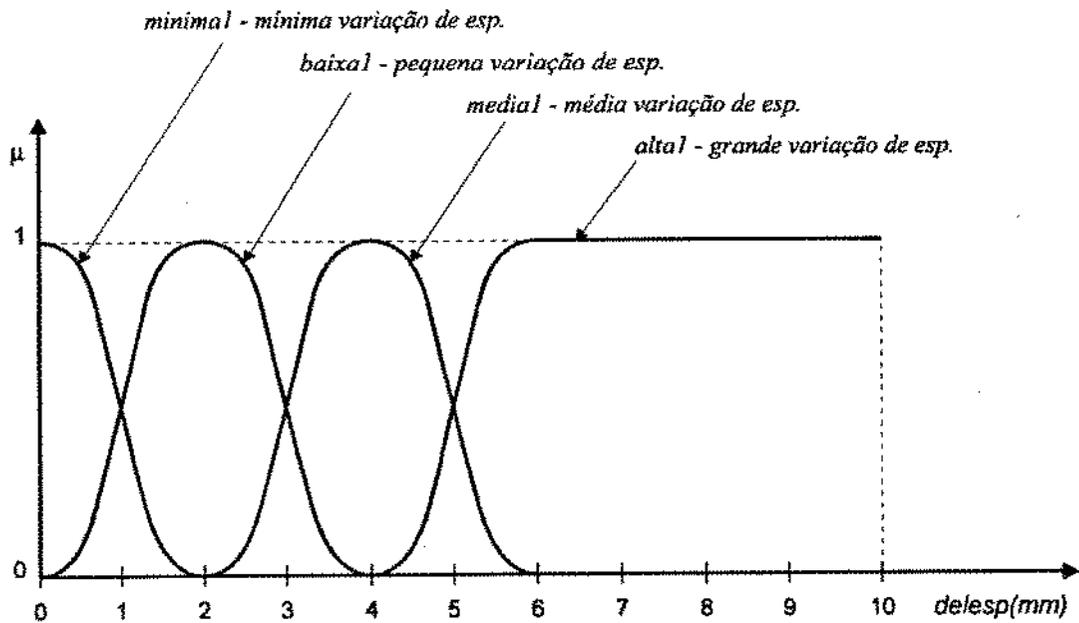


Figura 5.4. Representação gráfica da variável linguística *delesp*

A figura 5.5 representa graficamente as funções de pertinência dos termos linguísticos da variável *dellarg*. Os conceitos de variação de largura mínima, baixa e média, tem seus pontos de

amplitude máxima em zero, 150 e 300 mm, respectivamente. O conceito de variação de largura alta atinge seu valor de amplitude máxima com variações a partir de 450 mm.

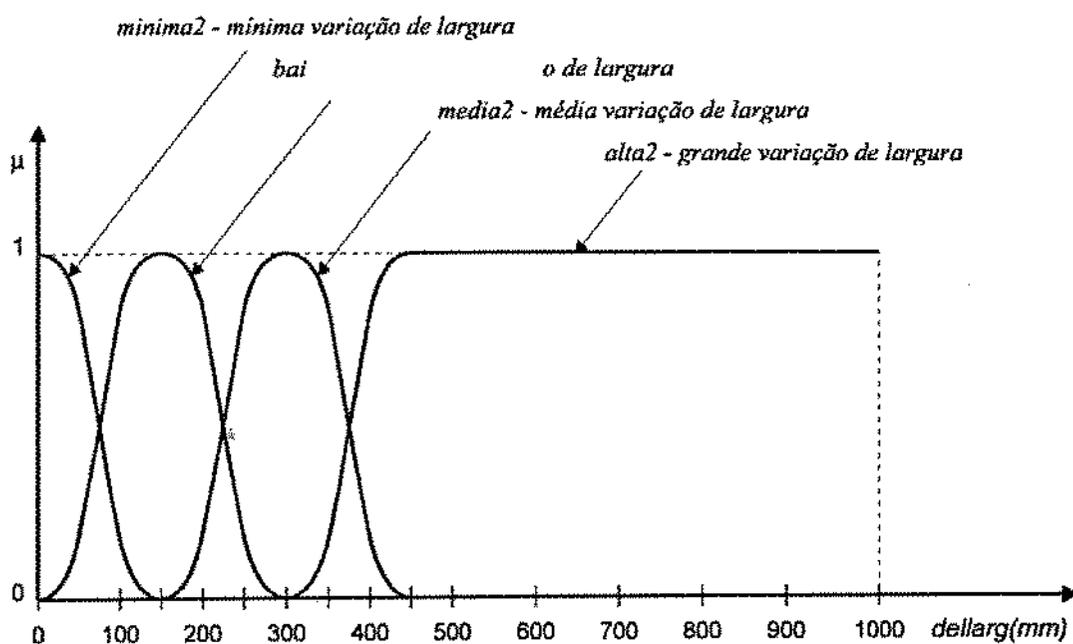


Figura 5.5. Representação gráfica da variável linguística *dellarg*

Para se fazer uma análise de variações, as cores foram divididas em grupos. A cada grupo foi atribuído um valor numérico inteiro entre 0 e 9. Dentro dos grupos as diversas tonalidades foram classificadas através da atribuição de um valor inteiro entre 0 e 99. Esses dois valores foram compostos num único número adimensional fazendo-se: (número do grupo \times 100) + valor atribuído à tonalidade, e definidos para cada cor.

As variações de cor são, então, medidas utilizando-se as diferenças entre os números adimensionais das cores em questão. A figura 5.6 representa graficamente as funções de pertinência dos termos linguísticos da variável *delcor*. A variação mínima de cor tem seu ponto de amplitude máxima em zero, isto é, quando não há variação de grupo ou tonalidade entre as cores. Os conceitos de variação baixa e média atingem seu valor de amplitude máxima com diferenças entre os números de cor em 150 e 300, respectivamente. O conceito de variação alta atinge seu valor de amplitude máxima com variações entre os números de cor a partir de 450.

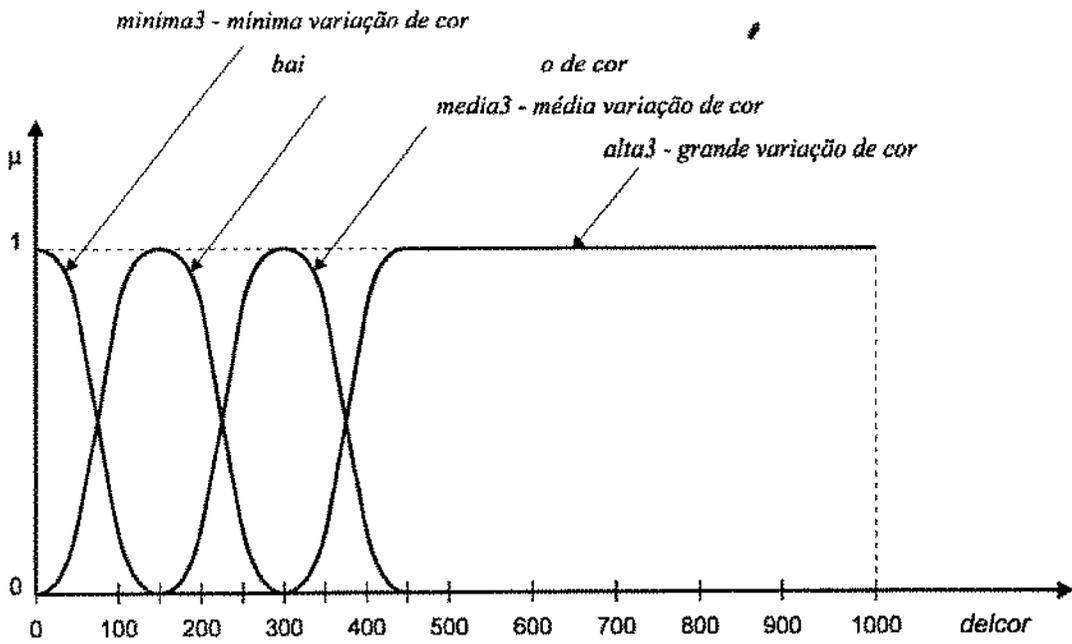


Figura 5.6. Representação gráfica da variável linguística *delcor*

A base de regras do sistema é formada por um conjunto de regras para a avaliação tecnológica dos candidatos, com a atribuição de valores de *setup*, para todas as combinações dos conceitos das variações (Δ) de espessura, largura e cor. Essa atribuição foi realizada com o preenchimento das tabelas verdade 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4, que cobrem todas as combinações possíveis.

Tabela 5.1. Valores de Setup para Δ de cor *minima3*

Δ Espessura	Δ Largura - <i>dellarg</i>			
	<i>minima2</i>	<i>baixa2</i>	<i>média2</i>	<i>alta2</i>
<i>deleap</i>				
<i>minimal</i>	<i>otimo</i>	<i>otimo</i>	<i>otimo</i>	<i>bom</i>
<i>baixal</i>	<i>otimo</i>	<i>bom</i>	<i>bom</i>	<i>bom</i>
<i>medial</i>	<i>bom</i>	<i>bom</i>	<i>bom</i>	<i>regular</i>
<i>altal</i>	<i>bom</i>	<i>regular</i>	<i>regular</i>	<i>regular</i>

Tabela 5.2. Valores de Setup para Δ de cor *baixa*³

Δ Espessura	Δ Largura - <i>dellarg</i>			
	<i>minima2</i>	<i>baixa2</i>	<i>média2</i>	<i>alta2</i>
<i>delesep</i>				
<i>minimal</i>	<i>otimo</i>	<i>bom</i>	<i>bom</i>	<i>bom</i>
<i>baixal</i>	<i>bom</i>	<i>bom</i>	<i>bom</i>	<i>regular</i>
<i>medial</i>	<i>bom</i>	<i>regular</i>	<i>regular</i>	<i>regular</i>
<i>altal</i>	<i>regular</i>	<i>regular</i>	<i>regular</i>	<i>fraco</i>

Tabela 5.3. Valores de Setup para Δ de cor *media*³

Δ Espessura	Δ Largura - <i>dellarg</i>			
	<i>minima2</i>	<i>baixa2</i>	<i>média2</i>	<i>alta2</i>
<i>delesep</i>				
<i>minimal</i>	<i>bom</i>	<i>bom</i>	<i>bom</i>	<i>regular</i>
<i>baixal</i>	<i>bom</i>	<i>regular</i>	<i>regular</i>	<i>regular</i>
<i>medial</i>	<i>regular</i>	<i>regular</i>	<i>regular</i>	<i>fraco</i>
<i>altal</i>	<i>regular</i>	<i>fraco</i>	<i>fraco</i>	<i>fraco</i>

Tabela 5.4. Valores de Setup para Δ de cor *alta*³

Δ Espessura	Δ Largura - <i>dellarg</i>			
	<i>minima2</i>	<i>baixa2</i>	<i>média2</i>	<i>alta2</i>
<i>delesep</i>				
<i>minimal</i>	<i>bom</i>	<i>regular</i>	<i>regular</i>	<i>fraco</i>
<i>baixal</i>	<i>regular</i>	<i>regular</i>	<i>fraco</i>	<i>fraco</i>
<i>medial</i>	<i>regular</i>	<i>fraco</i>	<i>fraco</i>	<i>pessimo</i>
<i>altal</i>	<i>fraco</i>	<i>pessimo</i>	<i>pessimo</i>	<i>pessimo</i>

A tabela 5.5 apresenta um resumo com algumas regras, da base de regras do Sistema de Tomada de Decisão para a avaliação tecnológica. A base de regras completa, tanto para a avaliação tecnológica como para a avaliação gerencial, é apresentada no Apêndice A.

Tabela 5.5. Base de regras resumida para a avaliação tecnológica

<i>PREPROCESSAMENTO</i>
{ fuzzyfica(delesp); fuzzyfica(dellarg); fuzzyfica(delcor); }
<i>META REGRAS</i>
GRUPO SETUP SE delcor e' minima3 E delesp e' minima1 E dellarg e' minima2 ENTAO setup = otimo; SE delcor e' minima3 E delesp e' minima1 E dellarg e' baixa2 ENTAO setup = otimo; SE delcor e' minima3 E delesp e' minima1 E dellarg e' media2 ENTAO setup = otimo; SE delcor e' minima3 E delesp e' minima1 E dellarg e' alta2 ENTAO setup = bom;
<i>POSPROCESSAMENTO</i>
{ defuzzyfica(setup); }

5.2. Fase de Alocação de Recursos

Como apresentado no capítulo 4, a fase de alocação de recursos é constituída de uma simulação "para trás" do progresso das ordens de produção e da alocação da ordem em uma máquina. O processo de simulação "para trás" foi explicado em detalhes no capítulo 4.

A escolha da máquina na qual a ordem será alocada segue o seguinte procedimento. O produto referente à ordem de produção é classificado em uma das famílias de produtos apresentadas na tabela 5.6, em função de suas características técnicas, usando-se um pequeno banco de regras do tipo *se-então*. Como consequência a tabela fornece a lista de máquinas na qual a operação pode ser realizada em ordem de preferência. Sobre essa lista é feita uma verificação das dimensões de largura e comprimento da chapa ou largura da bobina, de modo que sejam compatíveis com a primeira preferência. Caso contrário a ordem é alocada na segunda preferência, e assim por diante. Por exemplo, uma chapa fosca com 4.5 mm de espessura deve ser produzido preferencialmente na máquina 2. As máquinas 1 e 8 são as segunda e terceira alternativas, respectivamente.

Tabela 5.6. Famílias de Produtos vs. Máquinas

Famílias de Produtos		Máquinas							
		1	2	3	4	5	6	8	9
1	Bobinas, larg. < 200mm				1				
2	Bobinas, 200 < larg. < 800mm			3	1		2		
3	Bobinas, 800mm < larg.			1					
4	Bobinas texturizadas					1			
5	Bobinas c/ filme de polietileno		1			2			
6	Chapa fosca esp. < 1.2mm			2		1			
7	Chapa fosca esp. 1.3 à 2.5mm		3	2					1
8	Chapa fosca esp. 2.6 à 4.0mm	3	2					4	1
9	Chapa fosca esp. 4.1 à 5.0mm	2	1					3	
10	Chapa fosca 5.0mm < esp.		1					2	
11	Chapa fosca sem brilho mecânico		1						
12	Chapa c/brilho esp. < 1.9mm			1					
13	Chapa c/brilho esp. 2.0 à 2.7mm	1		2					3
14	Chapa c/brilho 2.8mm < esp.	2	1						3
15	Chapa c/filme esp. < 4.5mm	3	2					1	
16	Chapa c/filme 4.6mm < esp.		2					1	
17	Chapa texturizadas								1
18	Chapa em ABS							1	
19	Bobinas c/brilho			1					

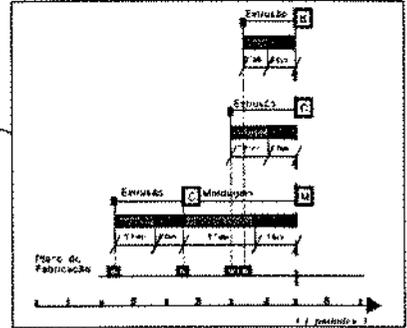
O conceito de família implícito na tabela 5.6, é adequado para a seleção do equipamento na alocação de uma ordem de produção. Entretanto, do ponto de vista de auxílio ao sequenciamento da produção, o agrupamento em famílias feito dessa forma não traz nenhum benefício, pois não incorpora conjuntamente espessura, largura e cor do material. Por exemplo, a máquina 8 está produzindo uma chapa de 3.0 mm amarela, e são candidatas ao sequenciamento uma chapa de 3.5 mm roxa, pertencente portanto a mesma família, e outra chapa de 2.5 mm laranja, pertencente a outra família. A escolha, do ponto de vista de preparação da máquina, deve recair sobre a segunda candidata devido ao menor gradiente de cor, mesmo pertencendo a outra família.

A figura 5.7 resume o processo de alocação de recursos e mostra a tela do sistema, onde é apresentado o gráfico de perfil de carga resultante da fase inicial de alocação. Na figura, é apresentado o gráfico da máquina 1, como indicado no canto superior direito (a indicação me_1, é proveniente de máquina extrusora 1). Na parte esquerda da tela aparece o gráfico de carga, sendo especificado em cada linha a data, o valor da carga daquela data em horas e um conjunto de caracteres @, onde cada caracter representa 2.4 horas de carga. Após 10 caracteres é colocado um espaço em branco de modo a salientar o limite de carregamento da máquina, dado que a fábrica opera em 3 turnos. A seleção de uma outra máquina pode ser feita através do uso do menu na opção dados, no canto superior esquerdo da tela.

Planejamento de Ordens de Produção

Programação da Produção - Alocação de Recursos

- O progresso das ordens de produção é simulado "para trás", a partir da data de entrega dos produtos;
- Alocação na máquina preferencial;
- Considera capacidade infinita.



> Famílias \ Máquinas	1	2	3	4	5	6	8	9
1 Bobinas larg. < 200mm			1					
2 Bobinas 200 < larg. < 800mm	3	1		2				
3 Bobinas 800mm < larg.			1					
4 Bobinas texturizadas					1			
5 Bobinas c/ filme de polietileno	1		2					
...
19 Bobinas cobrindo			1					

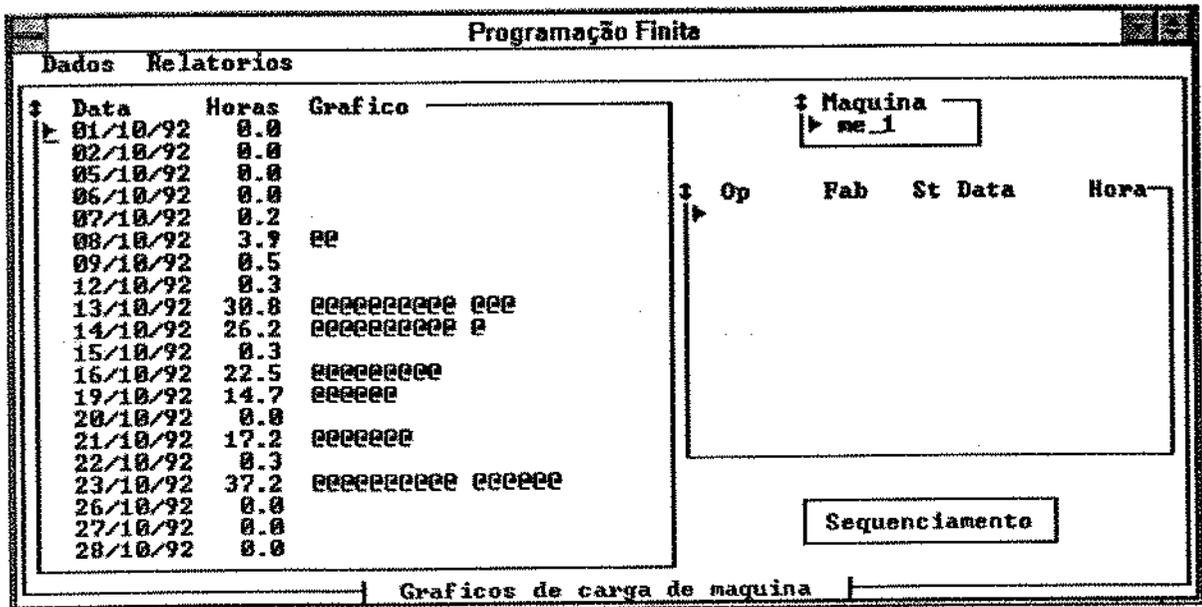
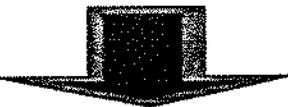


Figura 5.7. Fase de Alocação de Recursos, etapa inicial de alocação

O detalhamento do perfil de carga pode ser obtido como indicado na figura 5.8. Posiciona-se o cursor na data que se deseja ter uma visão mais detalhada da carga. Ao se pressionar a tecla <ENTER>, no lado direito da tela é mostrada a lista de ordens que dizem respeito à carga dessa data. São listados o número da ordem de produção, o tempo de fabricação e um código de status. Os valores que o código de status pode assumir são:

- if - quando a fabricação se inicia e termina no mesmo dia;
- i - quando a fabricação se inicia nesse dia e termina num dia posterior;
- f - quando a fabricação se inicia num dia anterior e termina nesse dia;
- m - quando a fabricação se inicia num dia anterior, prossegue nesse dia e finaliza num dia posterior.

Os parâmetros data e hora desta lista serão descritos numa seção posterior deste capítulo.

O sistema permite, também, visualizar alguns atributos de uma ordem de produção e do pedido de venda a ela associado. Posiciona-se o cursor na ordem que se deseja consultar os atributos e pressiona-se a tecla <ENTER>. Uma caixa de diálogo é aberta mostrando o código do produto e sua descrição, a família de produtos a qual pertence, o cliente, a data de entrega, as datas de início e fim das ordens de produção seguidas da lista de máquinas possíveis do produto a ser fabricado, em ordem de preferência.

Além da consulta, esta caixa de diálogo foi criada para se realocar uma ordem de produção para uma outra máquina da lista de preferenciais, quando o planejador julgar adequada essa realocação. O processo é simples, basta posicionar o cursor na máquina desejada e usar o botão confirma para executar a operação. A caixa de diálogo é, então, fechada e o gráfico de capacidade é redesenhado sem constar da carga referente a ordem de produção que foi realocada. O redesenho do gráfico só é realizado quando uma realocação foi determinada.

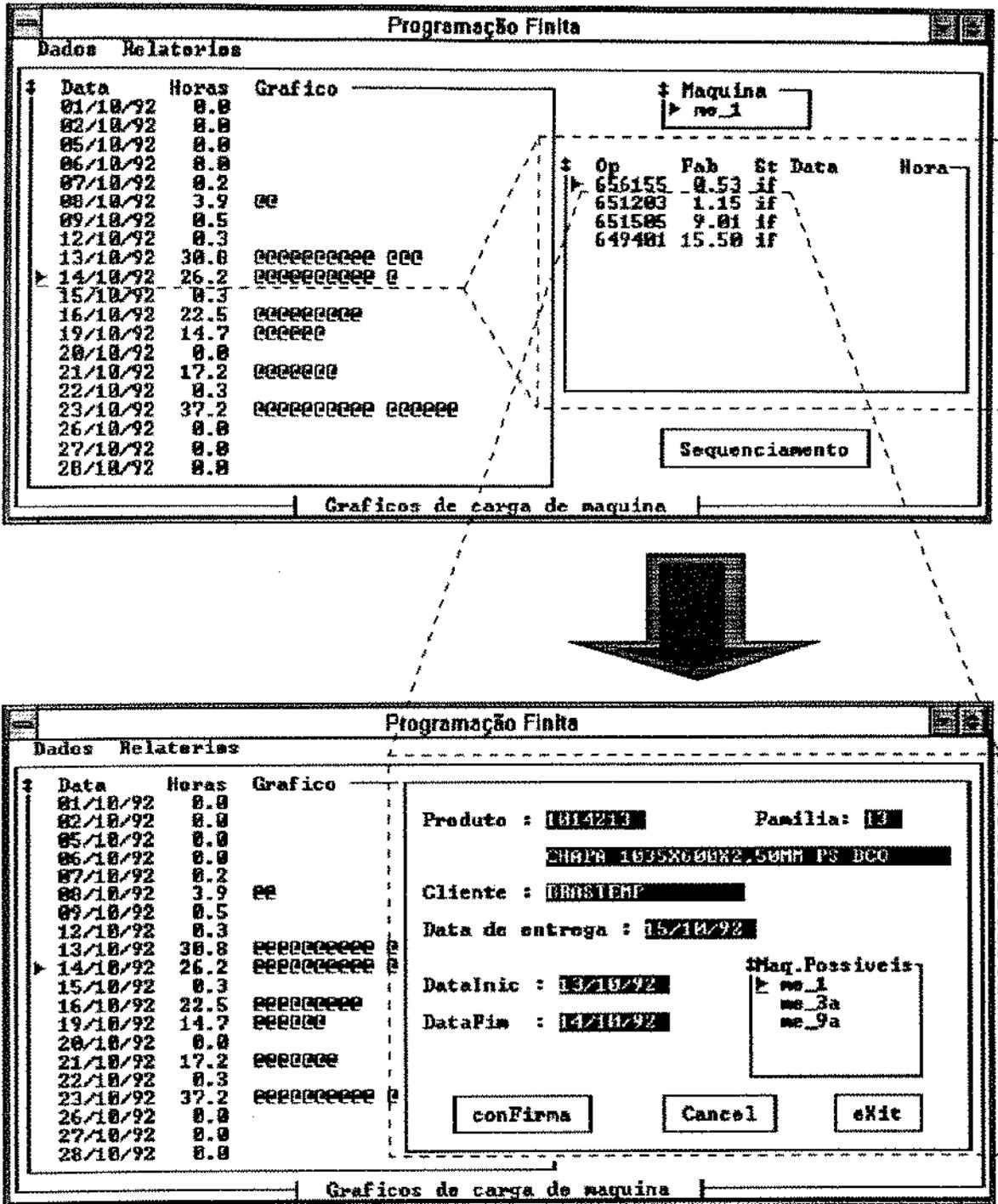


Figura 5.8. Tela do Sistema para realocações de Ordens de Produção

5.3. Fase de Sequenciamento

A fase de sequenciamento de produção é iniciada a partir da tela do gráfico de carga máquina, utilizando-se o botão *Sequenciamento*, como mostrado na figura 5.9. É então, aberta uma caixa de diálogo que é a tela básica para o sequenciamento da produção. Esta tela contém informações sobre a máquina que está sendo programada, a lista de ordens de produção candidatas a programação e o relógio do simulador.

A lista de ordens de produção candidatas a programação é ordenada por data de início mais tarde. Os atributos de cada ordem apresentados na lista são: *Op* - número de ordem; *Ti* - indica o tipo do produto, chapa (ch) ou bobina (bo); *Cliente* - o nome resumido do cliente; *Imt* - a data de início mais tarde; *T_{fab}* - o tempo efetivo de fabricação; *Esp* - espessura da chapa ou bobina; *L* largura da chapa ou bobina; *Comp* - comprimento da chapa, não especificado no caso de bobina; *LC* - formas de arrumação das chapas ou bobinas na extrusão, como mostrado na figura 5.10; *Cor* - o código da cor; os três últimos atributos *B*, *F* e *T* correspondem a especificação de produtos com Brilho, Filme e Textura, sendo atribuídos os valores 0 (não) ou 1 (sim). A decisão sobre a seleção do tipo de arrumação é tomada durante o processo de alocação de recursos, e visa minimizar o tempo de fabricação da ordem de produção.

O relógio do simulador define o instante a partir do qual a máquina está disponível para a programação de uma nova ordem, que é definida pelo planejador no início do processo de programação. Para se acertar o relógio do simulador, pressiona-se o botão *reloGio do simulador*., e uma caixa de diálogo é aberta com essa finalidade:

Na parte inferior da tela básica do sequenciamento estão posicionados os botões para as opções de sequenciamento: manual - *seq. Manual*, assistido - *seq. aSsistido* e automático - *seq. Automático*, e para as opções de visualização da programação de produção realizada - *Resultados* e de finalização da fase de sequenciamento - *eXit*. A seguir serão descritos os três processos de sequenciamento: manual, automático e assistido, nessa ordem.

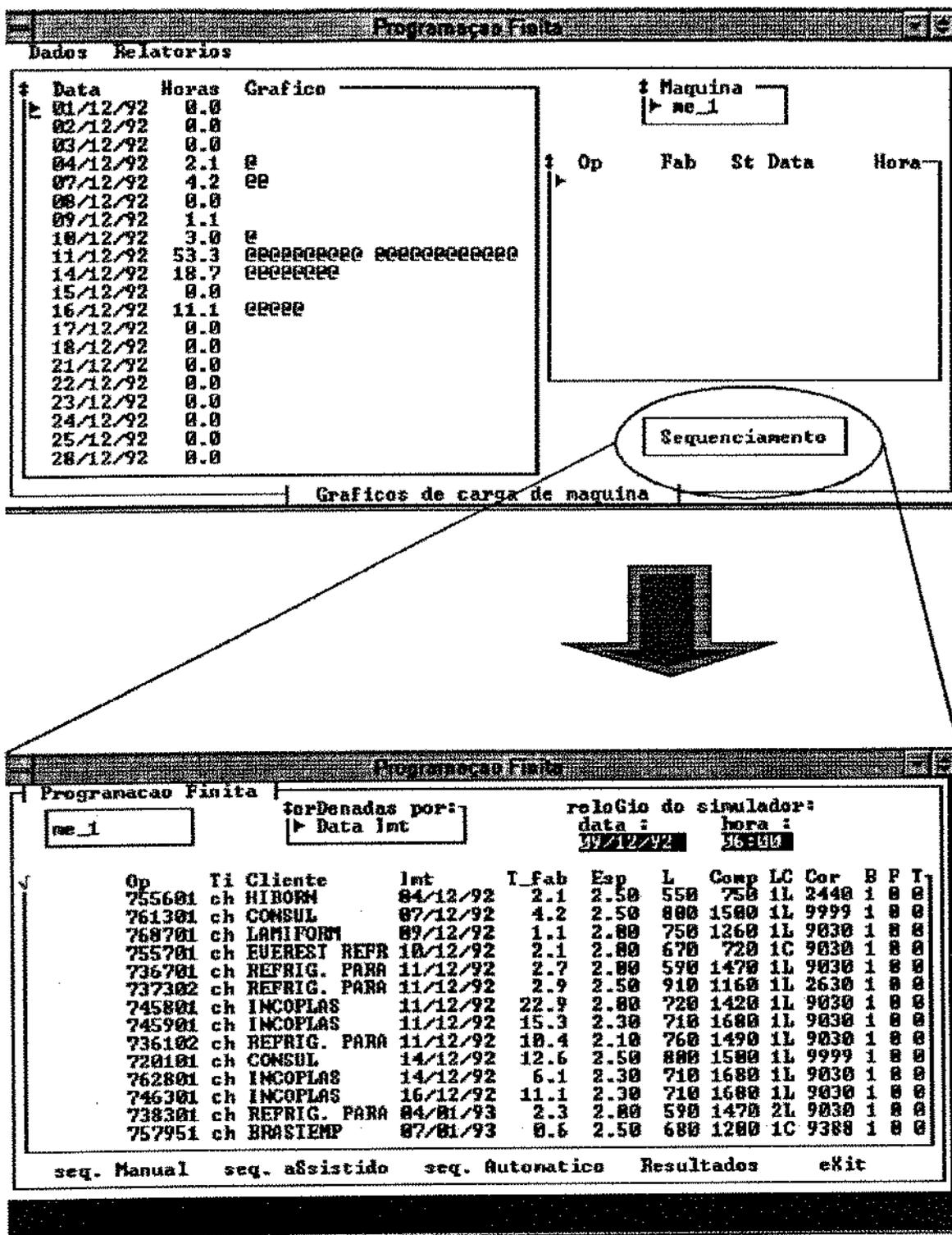
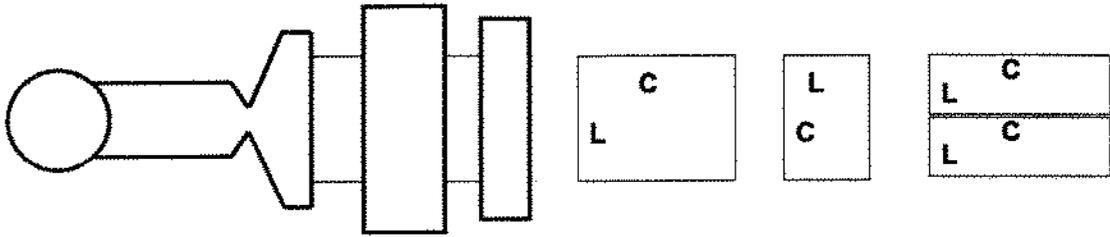
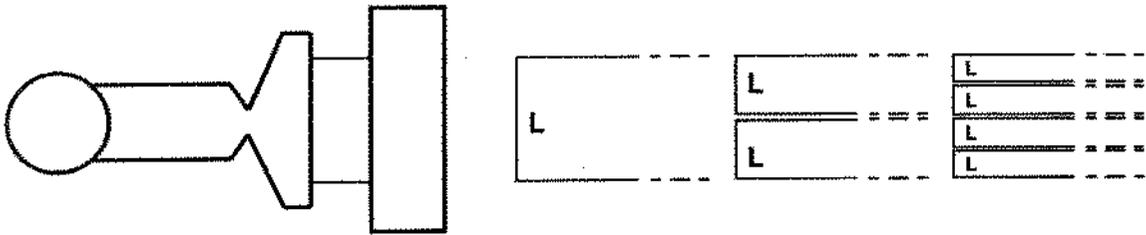


Figura 5.9. Abertura da tela básica para o sequenciamento da produção

Vista esquemática superior de uma máquina extrusora



Formas de arrumação para chapas: 1 L 1 C 2 L



Formas de arrumação para bobinas: 1 L 2 L 4 L

Legenda:

L ... Largura da chapa ou bobina
C ... Comprimento da chapa

Figura 5.10. Esquema de arrumação dos produtos na extrusão

5.3.1. Sequenciamento Manual

A opção de sequenciamento manual permite ao planejador interagir com o sistema e tomar suas próprias decisões no sequenciamento das ordens de produção.

A figura 5.7 mostra em sua parte superior a tela básica de sequenciamento. Na lista de ordens de produção candidatas, algumas ordens estão numeradas numa dada sequência estabelecida pelo planejador. Esta tarefa é realizada pelo planejador posicionando-se o cursor na linha da ordem que se quer selecionar pressionando-se a tecla <SPACE>. Esta tecla pode ser usada tanto para marcar, como para desmarcar uma dada ordem, sendo a sequência renumerada automaticamente quando necessário.

Após a sequência de um conjunto de ordens ter sido selecionada, o botão *seq. Manual* dispara a simulação "para frente" do progresso das ordens de produção, a partir do instante especificado pelo relógio do simulador.

No sequenciamento manual suprime-se os passos 1 e 2 do processo de simulação descrito na seção 4.4.1, visto que a avaliação das ordens candidatas e a seleção da próxima ordem a ser programada é feita pelo planejador de produção. O sequenciamento manual termina com a programação de todas as ordens marcadas.

As ordens selecionadas, que antes eram candidatas, foram programadas, e o sistema as retira da tela básica do sequenciamento. A programação da produção é visualizada com o uso do botão *Resultados*, que apresenta uma caixa de diálogo denominada *Resultados do Sequenciamento*, como mostrado na parte inferior da figura 5.11. Esta tela cobre parcialmente a tela básica de sequenciamento deixando à mostra a máquina e o relógio do simulador. Observa-se que o relógio do simulador foi atualizado, mostrando a nova hora em que a máquina estará disponível para a programação de novas ordens.

Nesta caixa de diálogo é apresentada a lista das ordens programadas. Esta lista contém três atributos que não existiam na tela básica do sequenciamento, que são a data e a hora em que cada ordem de produção foi programada, além do valor da variável *Emfase (Emf)*. A variável *Emfase* aponta a diferença entre a data em que a ordem foi programada e a data de início mais tarde.

Pode-se fazer um paralelo entre os gráficos apresentados na figura 4.3 e as telas utilizadas no sequenciamento. A parte (a) da figura apresenta um gráfico com as ordens de produção candidatas alocadas na data de início mais tarde, como listadas na tela básica do sequenciamento. A parte (b) da figura apresenta um gráfico com as ordens de produção já sequenciadas, como listadas na tela de *resultados do sequenciamento*.

A navegação entre as duas telas é feita pressionando-se o botão *Resultados* na tela básica do sequenciamento, e pressionando-se o botão *eXit* na tela de *resultados do sequenciamento*.

Uma outra função disponível na tela de *resultados do sequenciamento* é a de se desfazer a programação realizada até um determinado ponto. Para isso, posiciona-se o cursor na linha da ordem de produção a partir da qual se deseja que a programação seja desfeita, e pressiona-se o botão *Desfazer*

Programação Finita

Programação Finita

me_1 Ordenadas por: Data Int relógio do simulador: data : 09/12/92 hora : 06:00

Op	Ti	Cliente	Int	I_fab	Esp	L	Comp	LC	Cor	B	F	I
1 ->	755601	ch HIBORN	04/12/92	2.1	2.50	550	750	1L	2440	1	0	0
2 ->	761301	ch CONSUL	07/12/92	4.2	2.50	800	1500	1L	9999	1	0	0
	768701	ch LANIFORM	09/12/92	1.1	2.00	750	1260	1L	9830	1	0	0
4 ->	755701	ch EVEREST REFR	10/12/92	2.1	2.00	670	720	1C	9830	1	0	0
	736701	ch REFRIG. PARA	11/12/92	2.7	2.00	590	1470	1L	9830	1	0	0
	737302	ch REFRIG. PARA	11/12/92	2.9	2.50	910	1160	1L	2630	1	0	0
3 ->	745801	ch INCOPLAS	11/12/92	22.9	2.00	720	1420	1L	9830	1	0	0
5 ->	745901	ch INCOPLAS	11/12/92	15.3	2.30	710	1680	1L	9830	1	0	0
	736102	ch REFRIG. PARA	11/12/92	10.4	2.10	760	1490	1L	9830	1	0	0
	720101	ch CONSUL	14/12/92	12.6	2.50	800	1500	1L	9999	1	0	0
	762801	ch INCOPLAS	14/12/92	6.1	2.30	710	1680	1L	9830	1	0	0
	746301	ch INCOPLAS	16/12/92	11.1	2.30	710	1680	1L	9830	1	0	0
	738301	ch REFRIG. PARA	04/01/93	2.3	2.00	590	1470	2L	9830	1	0	0
	757951	ch BRASTEMP	07/01/93	0.6	2.50	680	1200	1C	9388	1	0	0

seq. Manual seq. assistido seq. Automatico Resultados eXit

No Sequenciamento Manual as decisões de sequenciamento são tomadas pelo planejador

↓

Programação Finita

Programação Finita

me_1 Ordenadas por: Data Int relógio do simulador: data : 11/12/92 hora : 06:14

Resultados do Sequenciamento

Op	Ti	Cliente	Emf	Dia	Hora	Esp	L	C	LC	Cor	B	F	I
1	755601	ch HIBORN	3	09/12/92	06:00	2.50	550	750	1L	2440	1	0	0
2	761301	ch CONSUL	2	09/12/92	08:09	2.50	800	1500	1L	9999	1	0	0
	745801	ch INCOPLAS	-2	09/12/92	12:50	2.00	720	1420	1L	9830	1	0	0
	755701	ch EVEREST REFR	0	10/12/92	16:12	2.00	670	720	1C	9830	1	0	0
	745901	ch INCOPLAS	-1	10/12/92	18:22	2.30	710	1680	1L	9830	1	0	0

Desfazer sequenciamento eXit

Figura 5.11. Interação entre a tela básica e a tela de resultados no sequenciamento manual

sequenciamento. As ordens desprogramadas são retiradas dessa lista e recolocadas na lista de ordens candidatas da tela básica do sequenciamento.

5.3.2. Sequenciamento Automático

Na opção de sequenciamento automático o sistema simula "para frente" o progresso das ordens de produção automaticamente, utilizando-se do Sistema de Tomada de Decisão baseado em lógica nebulosa para a seleção da ordem a ser programada, em cada etapa da simulação, como descrito no capítulo 4.

Para se iniciar o sequenciamento automático é necessário se definir qual a ordem que está em produção e a partir de qual momento a máquina estará disponível. Este procedimento é realizado através da opção de sequenciamento manual. Feitas estas definições pode-se disparar o modo automático.

A figura 5.12 apresenta o resultado de um procedimento de sequenciamento automático. Inicialmente foi definido manualmente que: a ordem 755601 estava em produção na máquina e o instante de início de produção da ordem foi às 9/12/92 às 6:00 hs. Com o sequenciamento manual da primeira ordem verificou-se que a máquina estaria disponível a partir de 9/12/92 às 8:09 hs. Disparado o modo automático de sequenciamento, as ordens são programadas a partir deste instante.

Pela figura observa-se que nem todas as ordens candidatas foram sequenciadas, pois cinco ordens permanecem na tela básica do sequenciamento apresentada na parte superior da figura. As ordens não sequenciadas têm data de início mais tarde em janeiro de 93, posterior a data estabelecida como fronteira de carregamento, que é definida pela soma da data do relógio do simulador mais sete dias. Caso a ordem 738301 fosse programada em 16/12/92, ela estaria sendo produzida com um adiantamento exagerado em relação a data de início mais tarde. Prevaleceu neste caso, como critério de parada para a simulação, a ausência de ordens de produção candidatas, dentro da fronteira de carregamento.

Concluído o sequenciamento automático, a programação de produção resultante pode ser analisada tanto através da tela de resultados, como por relatórios emitidos pelo sistema. A opção *eXit* da tela básica do sequenciamento, conclui a fase de sequenciamento, voltando-se para a tela do gráfico de carga máquina. Neste ponto o resultado da fase de sequenciamento pode ser confirmado ou não.

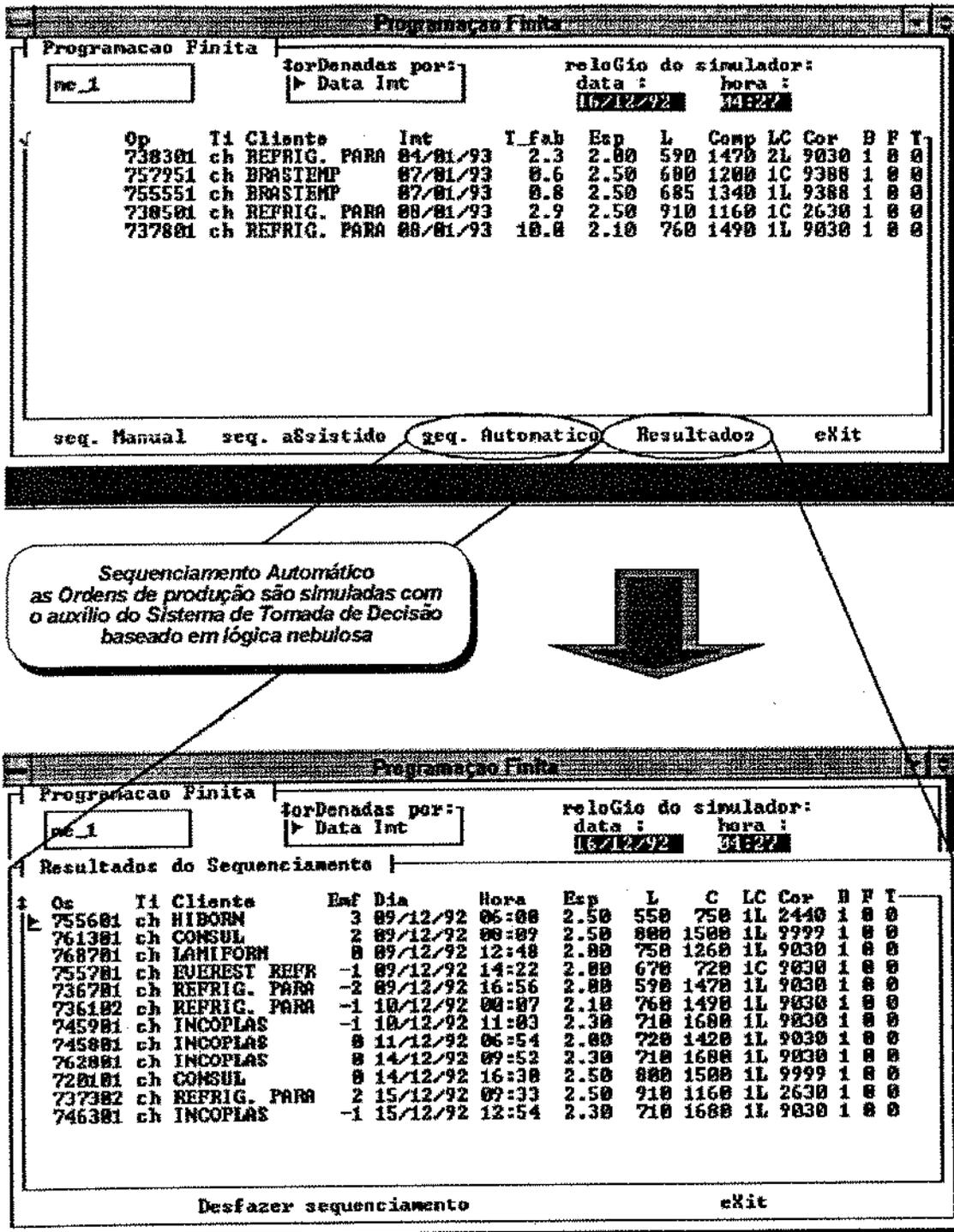


Figura 5.12. Interação entre a tela básica e de resultados, após um sequenciamento automático

A figura 5.13 apresenta a tela do gráfico de carga máquina, após o processo de sequenciamento no modo automático, que corresponde ao programação de produção da figura 5.12.

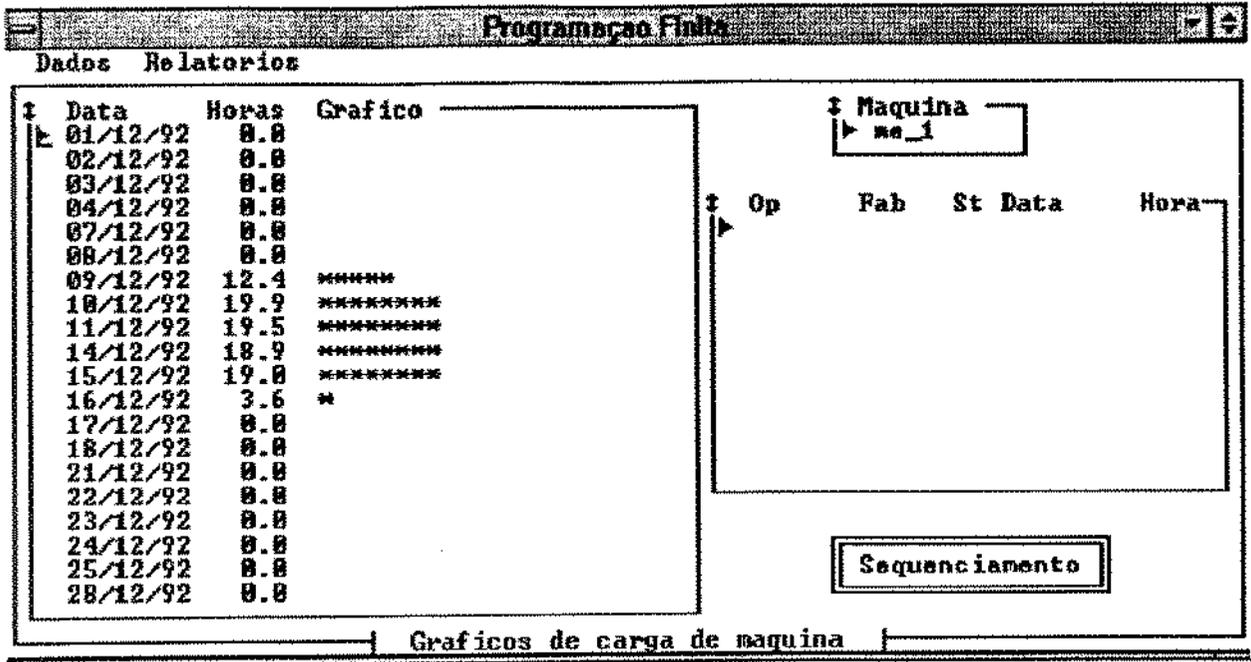


Figura 5.13. Tela do gráfico de carga máquina após o sequenciamento da produção

Comparando-se os gráficos de carga máquina das figuras 5.9 e 5.13, observa-se na primeira que uma unidade de carga (2.4 horas) é expressa pelo símbolo "@", representando uma carga resultante da alocação na data de início mais tarde, enquanto que na segunda uma unidade de carga é expressa pelo símbolo "*", representando uma carga resultante do sequenciamento da produção. As ordens candidatas não programadas por estarem após a fronteira de carregamento, também não aparecem na figura 5.13, pois a última data que aparece na figura é o dia 28/12/92.

O gráfico de carga máquina pode apresentar uma situação mista de unidades de carga, onde algumas ordens de produção já foram sequenciadas e outras estão alocadas na data de início mais tarde. Esta situação é mostrada na parte superior da figura 5.14. O cursor está posicionado no dia 11/12 e no lado direito da tela é feito um detalhamento da carga. As duas primeiras ordens aparecem com suas respectivas data e hora de programação, e representam as unidades de carga expressas por "*". As duas ordens seguintes não estão sequenciadas, e suas unidades de carga são expressas por "@" como descrito anteriormente.

Essa situação mista no gráfico de carga máquina pode ser consequência de duas diferentes situações. Num primeiro caso envolve uma situação como essa que foi criada para fazer a figura 5.14 onde o sequenciamento programado no modo automático foi desfeito na tela de resultados do

sequenciamento a partir da ordem 736701. Nesse momento a programação foi salva para ser continuada em uma outra hora. Um segundo caso envolve uma situação onde foi feita uma programação da produção com as ordens de produção que estavam planejadas. Passadas algumas horas ou um dia, o planejador retorna ao sistema e verifica que um conjunto de novos pedidos de venda deram entrada na empresa. Ao se iniciar novamente o programa de programação finita, estas novas ordens de produção passam imediatamente pela fase de alocação de recursos, e o gráfico de carga é apresentado. As unidades de carga expressas por "@" representam as ordens referentes aos novos pedidos.

Esta situação de carga mista será usada para descrever o modo de sequenciamento assistido.

5.3.3. Sequenciamento Assistido

O modo de sequenciamento assistido se assemelha ao modo automático, mas nele o processamento é interrompido após o processo de avaliação das ordens candidatas, ou seja, após o passo 1 do processo de simulação. Nesse momento é aberta uma caixa de diálogo denominada *candidatos ao sequenciamento*, que apresenta ao planejador as avaliações realizadas pelo sistema e possibilita a ele confirmar a nova ordem a ser programada, selecionando aquela melhor avaliada pelo sistema ou qualquer outra de sua preferência, como mostrado na parte inferior da figura 5.14.

Na parte superior dessa caixa de diálogo é mostrada a última ordem programada na máquina. A seguir é apresentada a lista das ordens candidatas, cujas datas de início mais tarde são anteriores à fronteira de carregamento. Esta lista contém alguns atributos ainda não descritos anteriormente como os parâmetros e os resultados da avaliação.

Como parâmetros da avaliação têm-se:

- a variação de espessura, D_{esp} ;
- a variação de largura da máquina, D_{lc} ;
- a variação de cor, D_{cor} ; e,
- a variável *Emfase* - Emf .

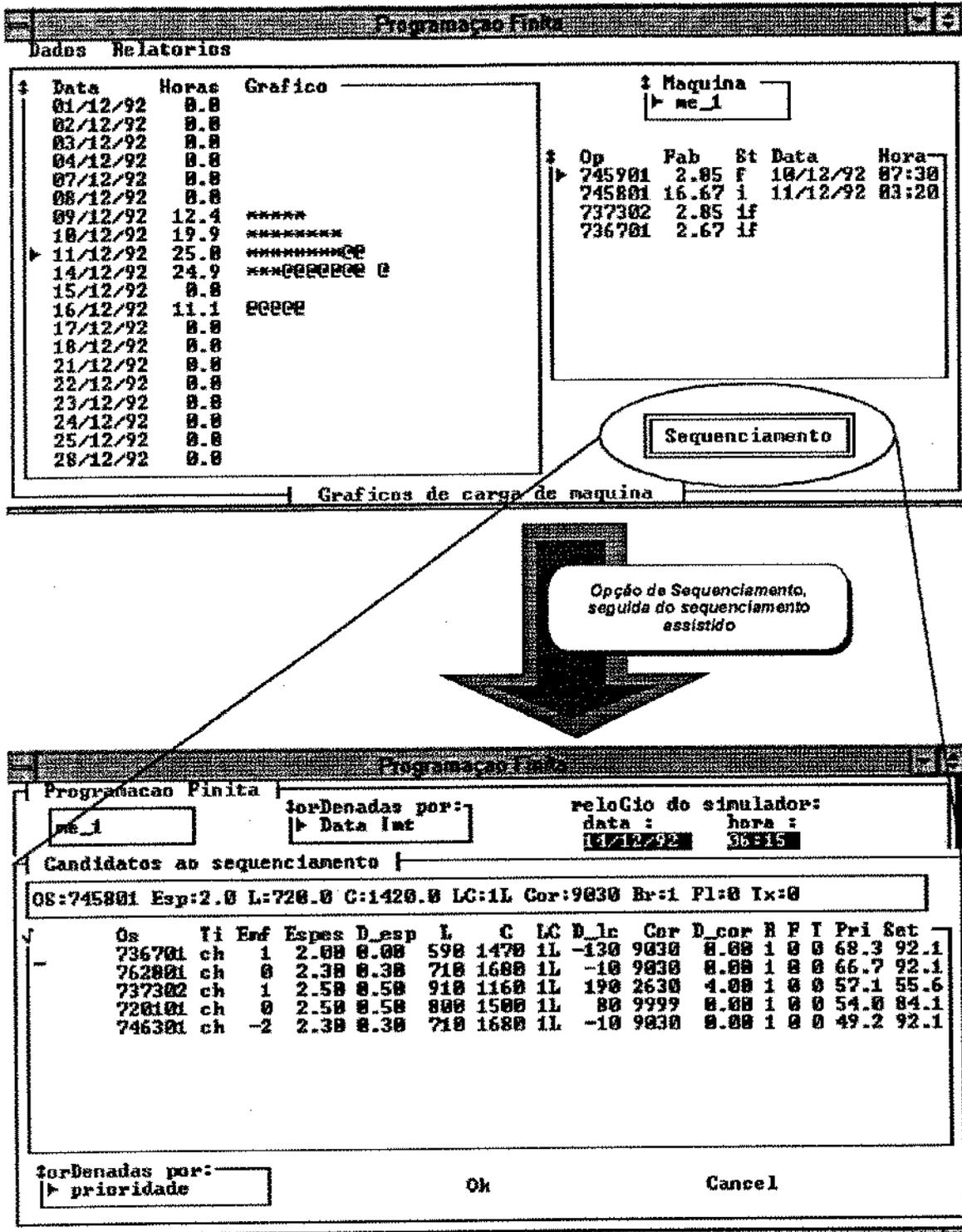


Figura 5.14. Uma situação de programação parcial na tela de gráfico de carga máquina e, na parte inferior, essa mesma situação na tela de sequenciamento assistido

Nas duas últimas colunas à direita têm-se os resultados das avaliações:

- gerencial dada por um valor de prioridade - *Pri*; e,
- tecnológica dada por um valor de *Setup* - *Set*.

A variável *Setup* que representa a avaliação tecnológica é apresentada nesta lista como um valor auxiliar para o planejador. Na ordenação das ordens ela funciona como uma chave secundária, tendo a função de desempatar quando o valor de prioridade de uma ou mais ordens forem iguais.

Para fazer sua escolha o planejador pressiona a tecla <SPACE> com o cursor posicionado na linha da ordem selecionada, de modo semelhante ao modo de sequenciamento manual.

Na parte inferior da tela encontra-se ainda uma lista de possibilidades de ordenações das ordens candidatas. A figura 5.15 apresenta as várias possibilidades de ordenação, com dados de uma outra situação onde o número de ordens candidatas é maior. Essas diferentes opções de ordenação podem ser utilizadas pelo planejador para melhor analisar as ordens candidatas. Em seguida estão posicionados os botões *Ok*, para confirmar a escolha de uma ordem, e *Cancel*, para fechar a caixa de diálogo sem programar uma nova ordem.

Esse procedimento conjunto de desfazer o sequenciamento até um determinado ponto, e a partir desse ponto sequenciar no modo assistido, tem como objetivo permitir ao planejador analisar as situações onde o sistema estaria avaliando e, conseqüentemente, selecionando de uma forma incorreta. E assim permitir uma discussão sobre possíveis melhorias da base de conhecimento do sistema.

Programação Finita

Programação Finita

Ordemadas por: Data Int relógio do simulador:

data: 13/02/2008 hora: 12:47

Candidatos ao sequenciamento

OS:727901 Esp:4.0 L:700.0 C:980.0 LC:1L Cor:0537 Br:0 Fl:0 Txi:1

Os	Ti	Enf	Espes	D_esp	L	C	LC	D_lc	Cor	D_cor	B	P	I	Pri	Set
753501	ch	0	2.00	-2.00	745	850	1L	45	1023	0.02	0	0	0	61.9	87.3
746908	ch	-1	4.00	0.00	1020	1305	1L	320	1550	-0.01	0	0	0	60.3	88.9
764301	ch	-1	3.00	-1.00	1050	1400	1L	350	1515	-0.05	0	0	0	50.8	77.0
746909	ch	-2	4.00	0.00	1020	1305	1L	320	1550	-0.01	0	0	0	49.2	88.9
736403	ch	-1	2.50	-1.50	700	1510	1L	80	5145	-1.00	0	0	0	49.2	76.2
771201	ch	-2	2.00	-2.00	560	800	1L	-140	2100	-1.00	0	0	0	47.6	74.6
753401	ch	0	2.00	-2.00	800	1500	1L	100	1023	0.02	0	0	0	47.6	73.0
764901	ch	-2	3.00	-1.00	760	1050	1L	60	0500	4.00	0	0	0	36.5	61.9
769001	ch	-2	3.00	-1.00	540	740	1C	40	9815	-5.00	0	0	0	36.5	61.9
769201	ch	-2	3.00	-1.00	640	830	1L	-60	9815	-5.00	0	0	0	36.5	61.9
764201	ch	-1	2.50	-1.50	850	1700	1L	150	9030	-5.00	0	0	0	34.9	49.2

Ordemadas por: prioridade

Candidatos ao sequenciamento

OS:727901 Esp:4.0 L:700.0 C:980.0 LC:1L Cor:0537 Br:0 Fl:0 Txi:1

Os	Ti	Enf	Espes	D_esp	L	C	LC	D_lc	Cor	D_cor	B	P	I	Pri	Set
753501	ch	0	2.00	-2.00	745	850	1L	45	1023	0.02	0	0	0	61.9	87.3
753401	ch	0	2.00	-2.00	800	1500	1L	100	1023	0.02	0	0	0	47.6	73.0
746908	ch	-1	4.00	0.00	1020	1305	1L	320	1550	-0.01	0	0	0	60.3	88.9
746909	ch	-1	3.00	-1.00	1050	1400	1L	350	1515	-0.05	0	0	0	50.8	77.0
736403	ch	-1	2.50	-1.50	700	1510	1L	80	5145	-1.00	0	0	0	49.2	76.2
764201	ch	-1	2.50	-1.50	850	1700	1L	150	9030	-5.00	0	0	0	34.9	49.2
764401	ch	-1	2.50	-1.50	930	2250	1L	230	9030	-5.00	0	0	0	31.7	39.7
746909	ch	-2	4.00	0.00	1020	1305	1L	320	1550	-0.01	0	0	0	49.2	88.9
771201	ch	-2	2.00	-2.00	560	800	1L	-140	2100	-1.00	0	0	0	47.6	74.6
764901	ch	-2	3.00	-1.00	760	1050	1L	60	0500	4.00	0	0	0	36.5	61.9
769001	ch	-2	3.00	-1.00	540	740	1C	40	9815	-5.00	0	0	0	36.5	61.9

Ordemadas por: enfase

Candidatos ao sequenciamento

Os	Ti	Enf	Espes	D_esp	L	C	LC	D_lc	Cor	D_cor	B	P	I	Pri	Set
746908	ch	-1	4.00	0.00	1020	1305	1L	320	1550	-0.01	0	0	0	60.3	88.9
746909	ch	-1	4.00	0.00	1020	1305	1L	320	1550	-0.01	0	0	0	49.2	88.9
746910	ch	-4	4.00	0.00	1020	1305	1L	320	1550	-0.01	0	0	0	20.4	80.9
746911	ch	-5	4.00	0.00	1020	1305	1L	320	1550	-0.01	0	0	0	15.9	80.9
771401	ch	-6	4.00	0.00	700	900	1L	0	0537	0.00	0	0	0	6.3	92.1
771601	ch	-6	4.00	0.00	700	900	1L	0	2690	-5.00	0	0	0	6.3	73.0
769301	ch	-2	3.50	-0.50	400	700	2L	100	9815	-5.00	0	0	0	27.0	55.6
769401	ch	-2	3.50	-0.50	510	540	1C	-160	9815	-5.00	0	0	0	25.4	49.2
764301	ch	-1	3.00	-1.00	1050	1400	1L	350	1515	-0.05	0	0	0	50.8	77.0
764901	ch	-2	3.00	-1.00	760	1050	1L	60	0500	4.00	0	0	0	36.5	61.9
769001	ch	-2	3.00	-1.00	540	740	1C	40	9815	-5.00	0	0	0	36.5	61.9

Ordemadas por: delta_esp

Candidatos ao sequenciamento

Os	Ti	Enf	Espes	D_esp	L	C	LC	D_lc	Cor	D_cor	B	P	I	Pri	Set
771301	ch	-6	3.00	-1.00	700	900	1L	0	0537	0.00	0	0	0	6.3	80.9
771401	ch	-6	4.00	0.00	700	900	1L	0	0537	0.00	0	0	0	6.3	92.1
771501	ch	-6	3.00	-1.00	700	900	1L	0	2690	-5.00	0	0	0	6.3	61.9
771601	ch	-6	4.00	0.00	700	900	1L	0	2690	-5.00	0	0	0	6.3	73.0
771701	ch	-6	3.00	-1.00	700	900	1L	0	9030	-5.00	0	0	0	6.3	61.9
768301	ch	-4	2.50	-1.50	710	800	1L	10	2100	-1.00	0	0	0	7.9	76.2
768401	ch	-4	3.00	-1.00	730	1050	1L	30	2100	-1.00	0	0	0	9.5	79.4
769001	ch	-2	3.00	-1.00	540	740	1C	40	9815	-5.00	0	0	0	36.5	61.9
753501	ch	0	2.00	-2.00	745	850	1L	45	1023	0.02	0	0	0	61.9	87.3
746901	ch	-2	3.00	-1.00	760	1050	1L	60	0500	4.00	0	0	0	36.5	61.9
769201	ch	-2	3.00	-1.00	640	830	1L	-60	9815	-5.00	0	0	0	36.5	61.9

Ordemadas por: delta_min

Candidatos ao sequenciamento

Os	Ti	Enf	Espes	D_esp	L	C	LC	D_lc	Cor	D_cor	B	P	I	Pri	Set
771301	ch	-6	3.00	-1.00	700	900	1L	0	0537	0.00	0	0	0	6.3	80.9
771401	ch	-6	4.00	0.00	700	900	1L	0	0537	0.00	0	0	0	6.3	92.1
746908	ch	-1	4.00	0.00	1020	1305	1L	320	1550	-0.01	0	0	0	60.3	88.9
746909	ch	-2	4.00	0.00	1020	1305	1L	320	1550	-0.01	0	0	0	49.2	88.9
746910	ch	-4	4.00	0.00	1020	1305	1L	320	1550	-0.01	0	0	0	20.4	80.9
746911	ch	-5	4.00	0.00	1020	1305	1L	320	1550	-0.01	0	0	0	15.9	80.9
753501	ch	0	2.00	-2.00	745	850	1L	45	1023	0.02	0	0	0	61.9	87.3
753401	ch	0	2.00	-2.00	800	1500	1L	100	1023	0.02	0	0	0	47.6	73.0
764301	ch	-1	3.00	-1.00	1050	1400	1L	350	1515	-0.05	0	0	0	50.8	77.0
736403	ch	-1	2.50	-1.50	700	1510	1L	80	5145	-1.00	0	0	0	49.2	76.2
771201	ch	-2	2.00	-2.00	560	800	1L	-140	2100	-1.00	0	0	0	47.6	74.6

Ordemadas por: delta_cor

Figura 5.15. Caixa de diálogo para o sequenciamento assistido com exemplos de diferentes ordenações

5.4. Resultados

Para apresentar os resultados da programação de produção buscou-se uma situação típica e recente, envolvendo um número significativo de ordens de produção, com as especificações de produto contemplando várias combinações diferentes de cor, espessura, largura e comprimento. Os dados colhidos junto à Plásticos Metalma são do período de 7 a 20 de janeiro de 1993. Dos dados obtidos escolheu-se a máquina extrusora 2, pois esta atendia aos requisitos de número de ordens e de diversidade, pretendidos para o teste comparativo de validação do modelo.

Serão apresentadas quatro situações comparativas de programações. As duas primeiras são programações de produção geradas a partir da utilização de regras citadas na literatura como as regras *SPT* (menor tempo de processamento) e *EDD* (menor prazo de entrega). A terceira é a programação efetivamente realizada na empresa no período citado, baseada na prática de programação atualmente utilizada (denominada *Prática Corrente* nos gráficos e figuras), e a última é aquela feita no modo de sequenciamento automático do sistema, baseada em lógica nebulosa (denominada *Fuzzy* nos gráficos e figuras).

Todas as tabelas tem como início o dia 07/01/93 às 00.00 hs. e a ordem 780601 como a primeira programada na máquina. As tabelas b.1, b.2, b.3 e b.4, do Apêndice B apresentam as programações baseadas na regra *SPT*, na regra *EDD*, a *Prática Corrente* e a *Fuzzy*, respectivamente.

Os dados apresentados nas tabelas são : *Data e Hora*, data e hora de início de produção da ordem; *Op*, número da ordem de produção; *Descrição*, a descrição resumida do produto estando indicado *ch.* de chapa e em seguida a cor; *Qtde*, a quantidade em quilos a ser produzida; *Larg.*, a largura da chapa; *L-C*, a forma de arrumação do produto, indicada por um ponto preto junto a coluna de largura ou comprimento; *Comp.*, comprimento da chapa; *Esp*, espessura da chapa; *Cor*, código da cor; *Em*, valor da variável *Emfase*; *Dt. Ent.*, data de entrega do pedido referente à ordem de produção.

O atributo *L-C* das tabelas indica a forma de arrumação da chapa de acordo com a figura 5.6. Quando o ponto estiver colocado junto a coluna da largura, significa que a chapa foi programada pela largura, e quando o ponto estiver colocado junto a coluna do comprimento, significa que a chapa foi programada pelo comprimento. O número dois junto ao ponto indica duas larguras.

A coluna *Emfase* indica o quão distante a ordem foi programada da sua data de início mais tarde. Esta coluna pode, portanto, fornecer um primeiro parâmetro para uma análise dos resultados quanto a satisfação dos objetivos gerenciais. Esta afirmação pode ser exemplificada através da Tabela B.2, onde a programação foi realizada baseada no menor prazo de entrega e mostra de uma forma clara os seguintes aspectos:

- até o dia 14/01, as ordens foram programadas com atrasos, mostrando um período onde a demanda estava acima da capacidade de produção da máquina;
- somente no dia 15/01 as ordens de produção começam a ser programadas na data de início mais tarde, com valores zero da variável *Emfase*;
- a partir desse ponto a situação se inverte e no dia 19/01 são programadas ordens, cujos pedidos tem data de entrega próximas ao final do mês.

Esses adiantamentos na segunda quinzena do mês, ocorrem principalmente para se absorver melhor um novo pico de demanda no início do mês seguinte.

Além da variável *Emfase* procurou-se avaliar as programações através de parâmetros que mostrassem a satisfação dos objetivos tecnológicos de minimizar a preparação da máquina e a mudança de cores.

A figura 5.16 mostra uma comparação das programações de produção realizadas, com o uso dos seguintes parâmetros que expressam os objetivos gerenciais e tecnológicos:

- a somatória dos atrasos, ou a somatória das variáveis *Emfase* de cada ordem de produção, quando o valor da variável for positivo. Este valor representa a soma do número de dias em que ordens de produção foram programadas em atraso, em relação às datas de início mais tarde;
- a somatória dos atrasos em ordens de clientes preferenciais;
- a somatória dos adiantamentos, ou a somatória do módulo das variáveis *Emfase* de cada ordem, quando o valor da variável for negativo. Este valor representa a soma do número de dias em que ordens de produção foram programadas adiantadas, em relação às datas de início mais tarde;
- o número de vezes em que a máquina produziu um grupo de ordens de cor preta ou grafite, seguida por ordens de outras cores;
- a somatória dos módulos das variações de espessura;

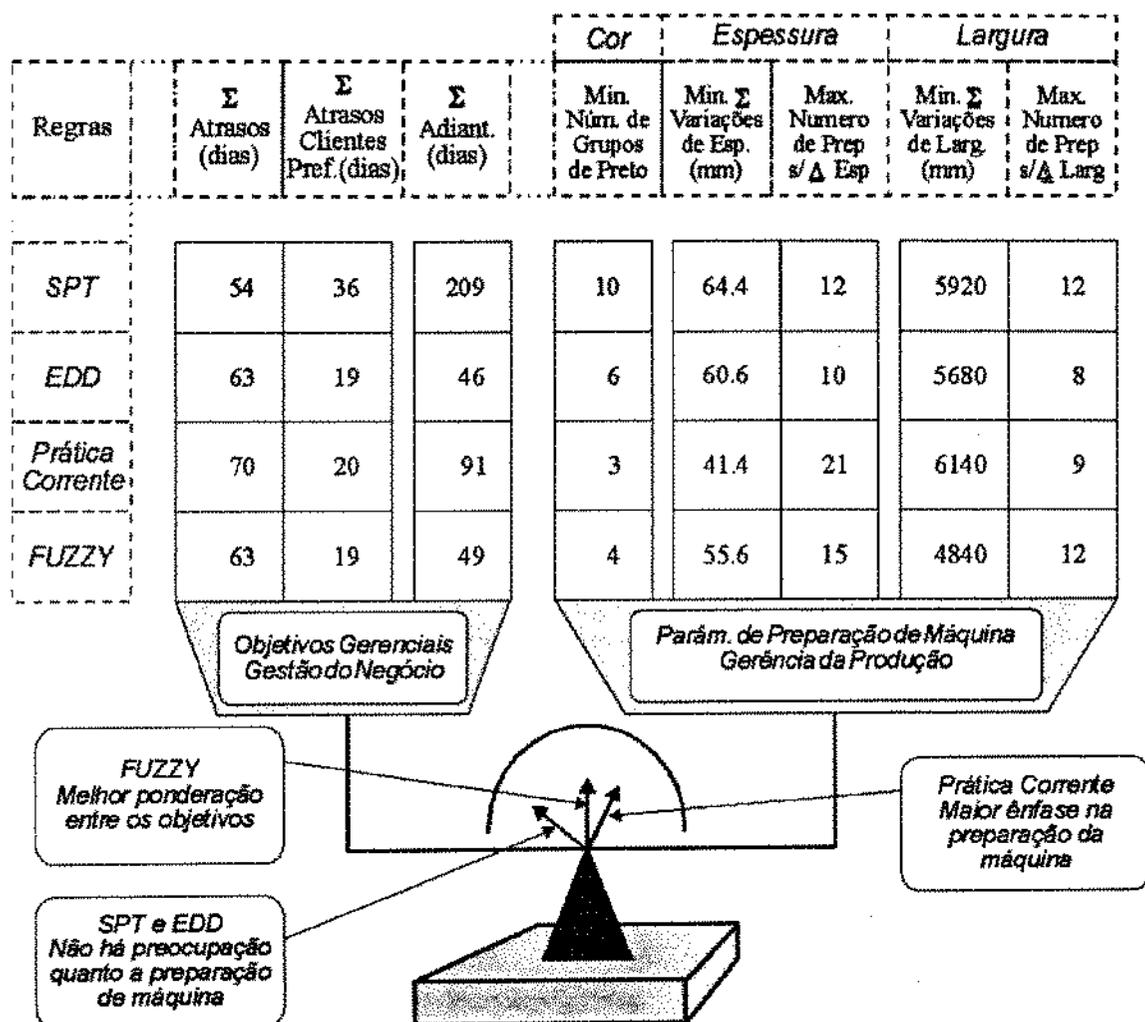


Figura 5.16. Comparação relativa do desempenho das regras

- o número de vezes em que na preparação da máquina não houve necessidade de mudança de espessura;
- a somatória dos módulos das variações de largura do equipamento;
- o número de vezes em que na preparação da máquina não houve necessidade de mudança na largura da máquina;

Os resultados das avaliações das programações de produção, figura 5.16, serão analisados comparando-se as programações *SPT*, *EDD*, e a *Prática Corrente* com a programação *Fuzzy*. Para facilitar a visualização dos resultados, os dados da tabela são apresentados na forma de gráfico. A figura 5.17 apresenta o gráfico das somatórias de adiantamentos e atrasos, para cada uma das programações.

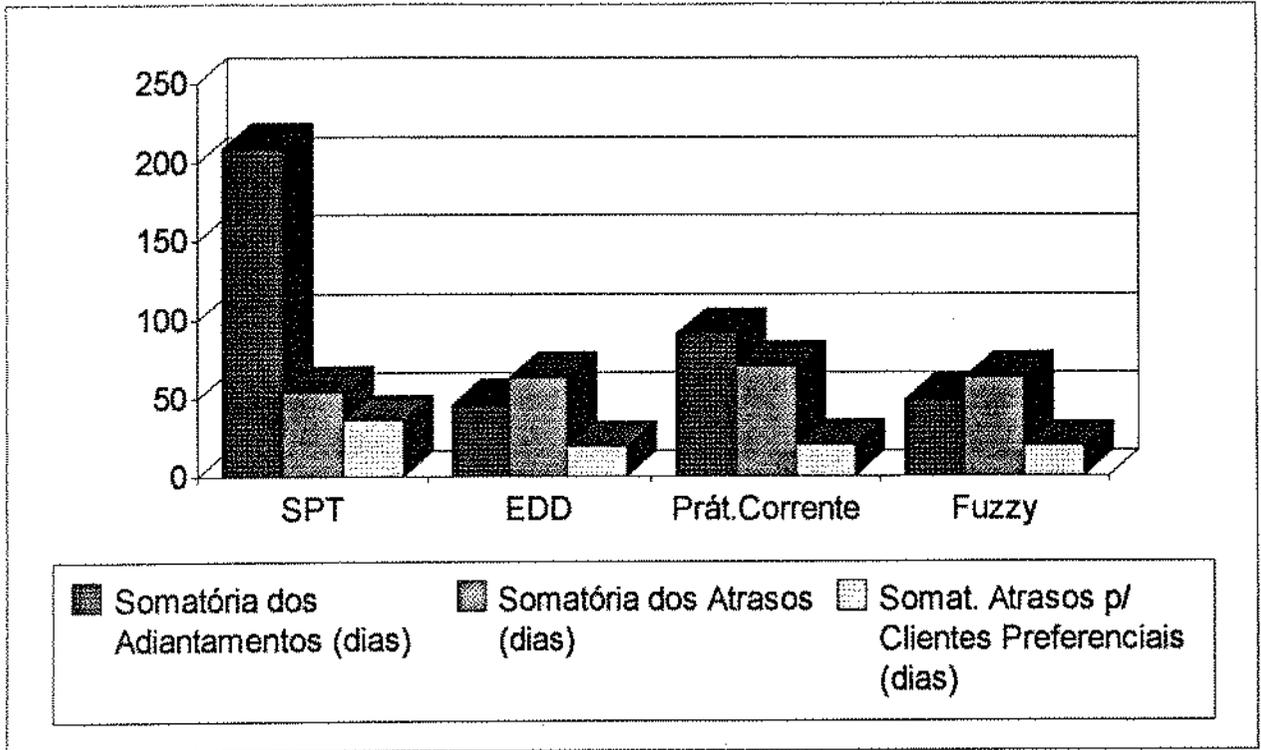


Figura 5.17. Gráfico das somatórias de adiantamentos e atrasos

Nas figuras 5.18, 5.19 e 5.20, para cada uma das programações, são apresentados em gráficos as grandezas que avaliam as preparações de máquina como o gráfico do número de grupos de cor preto, o gráfico das somatórias de variações de espessura e do número de preparações sem variações, e o gráfico das somatórias de variações de largura e do número de preparações sem variação de largura, respectivamente.

Comparando-se o desempenho da regra *SPT* com a *Fuzzy*, observa-se que:

- A regra *SPT*, por programar primeiro as ordens de menor tempo de processamento, gerou um número muito grande de ordens produzidas com vários dias de adiantamento;
- Do ponto de vista dos atrasos, aparentemente, teve um desempenho melhor que o das outras regras. Mas, quando se considera os atrasos em ordens de clientes preferenciais, foi a regra que teve o pior desempenho. Isto porque, as ordens com maiores tempos de processamento ou de maiores quantidades, são programadas por último, mas são geralmente geradas a partir de pedidos de clientes preferenciais. Das últimas dez ordens programadas por esta regra, seis diziam respeito a a clientes preferenciais.

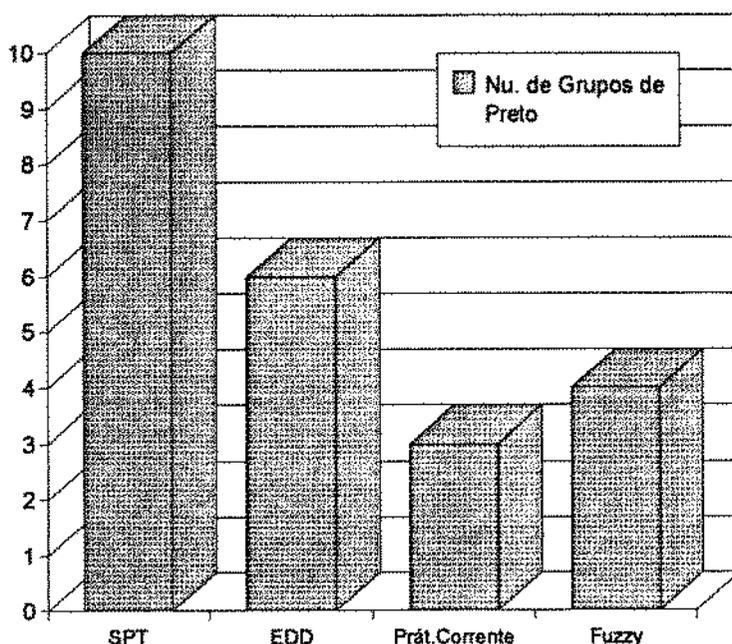


Figura 5.18. Gráfico do número de grupos de cor preto

- Do ponto de vista da minimização da preparação de máquina na troca de produtos, o desempenho da regra SPT foi insatisfatório, pois gerou variações muito grande tanto em termos de grupos de cores como de dimensões. Estes dados sobre preparação da máquina eram esperados pelo fato de não haver nessa regra nenhuma preocupação quanto a este aspecto.

Comparando-se o desempenho da regra EDD e Fuzzy, observa-se que:

- a regra EDD teve um desempenho semelhante considerando-se os atrasos e um pouco melhor nos adiantamentos. Principalmente porque ela se concentra somente nos objetivos gerenciais de minimizar os atrasos e os adiantamentos, não levando em conta os objetivos tecnológicos.
- Da mesma forma que na regra SPT, a preparação da máquina não é considerada no âmbito desta regra e o desempenho quanto a este ponto foi ruim como o esperado.

Um melhor desempenho dessas duas regras face aos objetivos tecnológicos somente pode se dar por pura coincidência dos dados, que as mesmas manipulam, com os parâmetros de preparação de máquina, pois não há nas regras nenhuma preocupação nestas regras em minimizar a preparação da máquina.

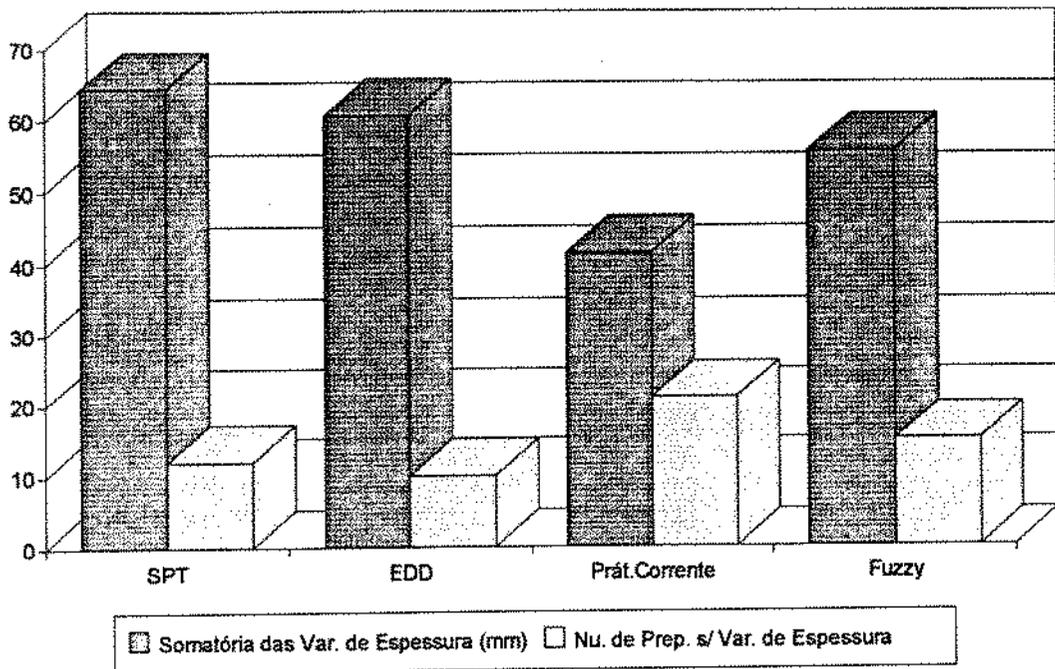


Figura 5.19. Gráfico das somatórias de variações de espessura e do número de preparações sem variação de espessura

Comparando-se as programações *Prática Corrente* e a *Fuzzy*, alguns pontos devem ser destacados:

- Na programação *Prática Corrente* há uma ênfase bastante grande na satisfação dos objetivos tecnológicos. Este fato pode ser observado pelo melhor desempenho na ordenação das cores, nas somatórias de variações de espessura e no número de preparações sem variação de espessura;
- Com relação aos objetivos gerenciais, a preocupação se volta mais para o lado de minimização dos atrasos. A *Prática Corrente* teve um desempenho um pouco inferior (em torno de 10%) quanto a soma dos atrasos, mas essa diferença foi bastante maior (cerca de 80%) quanto a soma dos adiantamentos;
- Na programação *Fuzzy*, há uma melhor ponderação entre os objetivos gerenciais e tecnológicos. Há um ganho quanto aos objetivos gerenciais: — pequeno em relação aos atrasos; e, — significativo em relação aos adiantamentos, em detrimento de uma pequena perda no aspecto tecnológico, que foi mais acentuada nos itens envolvendo variações de espessura.

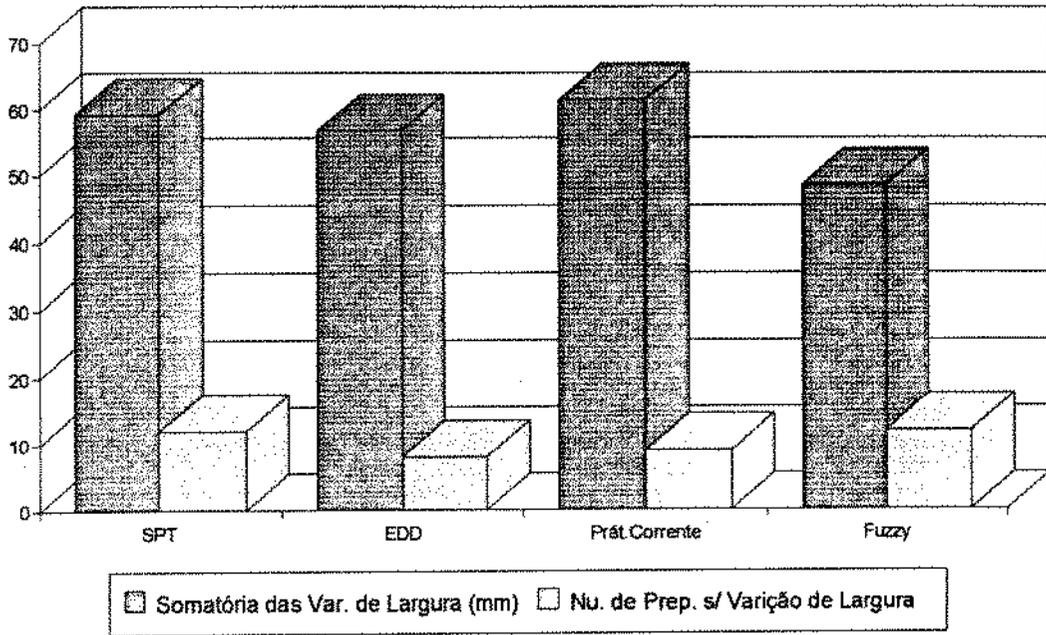


Figura 5.20. Gráfico das somatórias de variações de largura e do número de preparações sem variação de largura

O ganho obtido na somatória dos adiantamentos é bastante significativo e compatível com o momento atual de se buscar a redução dos estoques, gerando um impacto positivo no fluxo de caixa da empresa.

5.5. Comentários

Cabe nesse momento tecer alguns comentários quanto ao tamanho do problema apresentado, o desempenho computacional e as possibilidades de melhoria da solução.

O número de ordens programadas no período foi de 57 ordens de produção. Esse número diz respeito a 9 dias de produção. Se considerarmos o número de possibilidades de sequenciamento possíveis para as 57 ordens tem-se $57!$ que é igual a 4.05×10^{76} .

O tempo necessário para se programar o sistema no modo automático (baseado em lógica nebulosa) foi de aproximadamente 3 minutos num computador PC 386 de 40 Mhz. Este tempo é totalmente compatível com o tempo disponível para o planejador de produção realizar essa tarefa.

Utilizando-se do sistema, o planejador passa a ter, num tempo relativamente curto, uma solução de programação, que como vimos tem um bom desempenho do ponto de vista dos objetivos tecnológicos e

gerenciais. De posse do relatório de programação o planejador pode, então ainda, fazer pequenos ajustes na sequência de ordens, visando otimizar as preparações da máquina, tendo por outro lado uma visão clara dos impactos negativos, que possam ocorrer nos atrasos e adiantamentos.

Portanto, o uso do sistema não se esgota com o uso da programação automática, auxiliando o programador na obtenção de uma solução melhor.

Capítulo 6

Conclusão

Neste trabalho foi proposto um modelo de programação de produção baseado em lógica nebulosa, procedeu-se a implementação do modelo em um sistema computacional e foram realizados testes comparativos de desempenho.

De posse das análises das programações realizadas têm-se as seguintes conclusões.

- O resultado do teste de desempenho comparativo entre as programações de produção mostrou a validade do modelo proposto neste trabalho, quando comparado com métodos convencionais de programação, como as regras SPT e EDD, bem como comparado com a programação efetivamente realizada.

Além disso, os resultados tornam evidente a importância de se perseguir simultaneamente os diversos objetivos, tecnológicos e gerenciais, da programação de produção, e expõem a capacidade do modelo de ponderar bem esses objetivos, durante o processo de sequenciamento da produção.

- A lógica nebulosa mostrou ser uma ferramenta útil para a modelagem e o tratamento de objetivos múltiplos, de difícil quantificação e ponderação relativa, além de conflitantes entre si, em sistemas de programação de produção.
- A especificação da base de conhecimento nebulosa, seja na definição das funções de pertinência, seja na definição das regras através do preenchimento das tabelas verdade, mostrou ser uma metodologia simples e intuitiva. De fácil uso na especificação de sistemas de tomada de decisão e compreensível ao nível do planejador de produção.
- O tempo computacional gasto é compatível com a atividade de programação.

- A base de conhecimento nebulosa está recém modelada. Os resultados apresentados são os primeiros resultados do sistema. Abre-se, agora, a possibilidade de um aprimoramento contínuo da base de conhecimento. Seja através de revisões nas regras ou nas funções de pertinência, seja através da modelagem de novas bases de regras, para atender a situações não previstas no âmbito deste trabalho.
- O aprimoramento da base será fruto do uso do sistema. Somente seu uso permitirá uma análise sistemática das programações geradas pelo sistema, de modo a diagnosticar situações onde seu desempenho esteja aquém do desejado, e propiciar melhorias.

Em função dos desenvolvimentos realizados neste trabalho, alguns temas que apresentam uma perspectiva promissora e poderão ser objeto de trabalhos futuros, são descritos a seguir.

- A aplicação de métodos de busca para a otimização de produção que levem em conta as características do problema. O método de busca *beam search*, parece ser bastante adequado pois utiliza um conceito semelhante ao da fronteira de carregamento, para restringir o processo de busca.
- Neste trabalho a base de conhecimento nebulosa foi preparada para avaliar a próxima ordem de produção candidata ao sequenciamento. Na aplicação dos métodos de busca o que se deseja avaliar é o resultado global da programação, depois que um conjunto de decisões foi tomado. No processo de análise dos resultados deste trabalho, procurou-se levantar alguns valores, que auxiliassem na avaliação de uma programação de produção, mas sem a pretensão de definir um modelo de avaliação. Este é, portanto, um tema que merece atenção considerando que o modelo deve contemplar, também, objetivos múltiplos, de difícil ponderação relativa e conflitantes entre si. Esse modelo de avaliação deve, então, ser utilizado para a avaliação dos ramos numa árvore de busca.
- O conceito de fronteira de carregamento utilizado no modelo reduziu, a cada seleção de ordem, o número de ordens candidatas a serem analisadas. Pelos resultados das programações pode-se verificar que para atender aos objetivos de minimizar os atrasos e adiantamentos, com o sistema no modo automático, as ordens programadas até o dia 14/01 (tabela b.4), todas estavam atrasadas. Mas o sistema ao analisar as candidatas avaliou inclusive aquelas que estavam dias à frente, dentro da fronteira de carregamento. Conclui-se que a fronteira de carregamento pode, portanto, ser ajustada dinamicamente conforme a condição de carregamento da máquina. Menor para os períodos onde a

demanda é maior que a capacidade e maior quando a situação se inverte. E dessa forma reduzir o tempo computacional para a programação da produção.

O desenvolvimento de uma fronteira de carregamento dinâmica poderá trazer benefícios mais significativos quando associada a um processo de busca.

- A interface homem/máquina do sistema desenvolvido neste trabalho contém uma série de limitações de operação, que poderiam ser bastante melhoradas com o desenvolvimento de uma interface gráfica associada a reprogramação dinâmica das ordens afetadas. Esse pode ser um dos temas de interesse, quando as ordens afetadas por alterações do planejador, pudessem ser reprogramadas dinamicamente.

Apêndice A

Base de Regras para Definição de Prioridades de Produção

```

GLOBAL int espessura;
GLOBAL fuzzy delesp { minima1,baixa1,media1,alta1 } espessura, [0,10];

GLOBAL int largura;
GLOBAL fuzzy dellarg { minima2,baixa2,media2,alta2 } largura, [0,1500];

GLOBAL int cor;
GLOBAL fuzzy delcor { minima3,baixa3,media3,alta3 } cor, [0,1000];

GLOBAL int set_up;
GLOBAL fuzzy setup { pessimo,fraco,regular,bom,otimo } set_up, [0,100];

GLOBAL int em_fase;
GLOBAL fuzzy emfase { adiantgr,adiantrnd,adiantpq,iniciomt,atrasopq,atrasomd,atrasogr }
                em_fase, [-10,10];

GLOBAL int prioridade;
GLOBAL fuzzy priorid { muiabaixa,baixa,media,alta,muialta } prioridade,[0,100];

```

PREPROCESSAMENTO

```

{
    fuzzyfica( delesp );
    fuzzyfica( dellarg );
    fuzzyfica( delcor );
    fuzzyfica( emfase );
}

```

META_REGRAS

```
# GRUPO SETUP
```

SE delcor e' minima3 E delesp e' minima1 E dellarg e' minima2

ENTAO setup = otimo;

SE delcor e' minima3 E delesp e' minima1 E dellarg e' baixa2

ENTAO setup = otimo;

SE delcor e' minima3 E delesp e' minima1 E dellarg e' media2

ENTAO setup = otimo;

SE delcor e' minima3 E delesp e' minima1 E dellarg e' alta2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' minima3 E delesp e' baixa1 E dellarg e' minima2

ENTAO setup = otimo;

SE delcor e' minima3 E delesp e' baixa1 E dellarg e' baixa2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' minima3 E delesp e' baixa1 E dellarg e' media2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' minima3 E delesp e' baixa1 E dellarg e' alta2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' minima3 E delesp e' media1 E dellarg e' minima2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' minima3 E delesp e' media1 E dellarg e' baixa2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' minima3 E delesp e' media1 E dellarg e' media2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' minima3 E delesp e' media1 E dellarg e' alta2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' minima3 E delesp e' alta1 E dellarg e' minima2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' minima3 E delesp e' alta1 E dellarg e' baixa2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' minima3 E delesp e' alta1 E dellarg e' media2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' minima3 E delesp e' alta1 E dellarg e' alta2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' baixa3 E delesp e' minima1 E dellarg e' minima2

ENTAO setup = otimo;

SE delcor e' baixa3 E delesp e' minima1 E dellarg e' baixa2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' baixa3 E delesp e' minima1 E dellarg e' media2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' baixa3 E delesp e' minima1 E dellarg e' alta2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' baixa3 E delesp e' baixa1 E dellarg e' minima2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' baixa3 E delesp e' baixa1 E dellarg e' baixa2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' baixa3 E delesp e' baixa1 E dellarg e' media2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' baixa3 E delesp e' baixa1 E dellarg e' alta2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' baixa3 E delesp e' media1 E dellarg e' minima2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' baixa3 E delesp e' media1 E dellarg e' baixa2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' media3 E delesp e' baixa1 E dellarg e' alta2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' media3 E delesp e' media1 E dellarg e' minima2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' media3 E delesp e' media1 E dellarg e' baixa2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' media3 E delesp e' media1 E dellarg e' media2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' media3 E delesp e' media1 E dellarg e' alta2

ENTAO setup = fraco;

SE delcor e' media3 E delesp e' alta1 E dellarg e' minima2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' media3 E delesp e' alta1 E dellarg e' baixa2

ENTAO setup = fraco;

SE delcor e' media3 E delesp e' alta1 E dellarg e' media2

ENTAO setup = fraco;

SE delcor e' media3 E delesp e' alta1 E dellarg e' alta2

ENTAO setup = fraco;

SE delcor e' alta3 E delesp e' minimal1 E dellarg e' minima2

ENTAO setup = bom;

SE delcor e' alta3 E delesp e' minimal1 E dellarg e' baixa2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' alta3 E delesp e' minimal1 E dellarg e' media2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' alta3 E delesp e' minimal1 E dellarg e' alta2

ENTAO setup = fraco;

SE delcor e' alta3 E delesp e' baixa1 E dellarg e' minima2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' alta3 E delesp e' baixa1 E dellarg e' baixa2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' alta3 E delesp e' baixa1 E dellarg e' media2

ENTAO setup = fraco;

SE delcor e' alta3 E delesp e' baixa1 E dellarg e' alta2

ENTAO setup = fraco;

SE delcor e' alta3 E delesp e' media1 E dellarg e' minima2

ENTAO setup = regular;

SE delcor e' alta3 E delesp e' media1 E dellarg e' baixa2

ENTAO setup = fraco;

SE delcor e' alta3 E delesp e' media1 E dellarg e' media2

ENTAO setup = fraco;

SE delcor e' alta3 E delesp e' media1 E dellarg e' alta2

ENTAO setup = pessimo;

SE delcor e' alta3 E delesp e' alta1 E dellarg e' minima2

ENTAO setup = fraco;

SE delcor e' alta3 E delesp e' alta1 E dellarg e' baixa2

ENTAO setup = pessimo;

SE delcor e' alta3 E delesp e' alta1 E dellarg e' media2

ENTAO setup = pessimo;

SE delcor e' alta3 E delesp e' alta1 E dellarg e' alta2

ENTAO setup = pessimo;

#GRUPO PREFERENCIAL

SE emfase e' adiantgr

ENTAO priorid = muibaixa;

SE emfase e' adiantmd E setup e' pessimo

ENTAO priorid = muibaixa;

SE emfase e' adiantmd E setup e' fraco

ENTAO priorid = muibaixa;

SE emfase e' adiantmd E setup e' regular

ENTAO priorid = muibaixa;

SE emfase e' adiantmd E setup e' bom

ENTAO priorid = baixa;

SE emfase e' adiantmd E setup e' otimo

ENTAO priorid = baixa;

SE emfase e' adiantpq E setup e' pessimo

ENTAO priorid = muibaixa;

SE emfase e' adiantpq E setup e' fraco

ENTAO priorid = baixa;

SE emfase e' adiantpq E setup e' regular

ENTAO priorid = media;

SE emfase e' adiantpq E setup e' bom

ENTAO priorid = media;

SE emfase e' adiantpq E setup e' otimo

ENTAO priorid = media;

SE emfase e' iniciomt E setup e' pessimo

ENTAO priorid = media;

SE emfase e' iniciomt E setup e' fraco

ENTAO priorid = media;

SE emfase e' iniciomt E setup e' regular

ENTAO priorid = alta;

SE emfase e' iniciomt E setup e' bom

ENTAO priorid = alta;

SE emfase e' iniciomt E setup e' otimo

ENTAO priorid = muialta;

SE emfase e' atrasopq E setup e' pessimo

ENTAO priorid = alta;

SE emfase e' atrasopq E setup e' fraco

ENTAO priorid = alta;

SE emfase e' atrasopq E setup e' regular

ENTAO priorid = muialta;

SE emfase e' atrasopq E setup e' bom

ENTAO priorid = muialta;

SE emfase e' atrasopq E setup e' otimo

ENTAO priorid = muialta;

SE emfase e' atrasomd

ENTAO priorid = muialta;

SE emfase e' atrasogr

ENTAO priorid = muialta;

GRUPO_NAO_PREFERENCIAL

SE emfase e' adiantgr

ENTAO priorid = muiabaixa;

SE emfase e' adiantmd E setup e' pessimo

ENTAO priorid = muiabaixa;

SE emfase e' adiantmd E setup e' fraco

ENTAO priorid = muibaixa;

SE emfase e' adiantmd E setup e' regular

ENTAO priorid = muibaixa;

SE emfase e' adiantmd E setup e' bom

ENTAO priorid = muibaixa;

SE emfase e' adiantmd E setup e' otimo

ENTAO priorid = baixa;

SE emfase e' adiantpq E setup e' pessimo

ENTAO priorid = muibaixa;

SE emfase e' adiantpq E setup e' fraco

ENTAO priorid = muibaixa;

SE emfase e' adiantpq E setup e' regular

ENTAO priorid = baixa;

SE emfase e' adiantpq E setup e' bom

ENTAO priorid = media;

SE emfase e' adiantpq E setup e' otimo

ENTAO priorid = media;

SE emfase e' iniciomt E setup e' pessimo

ENTAO priorid = baixa;

SE emfase e' iniciomt E setup e' fraco

ENTAO priorid = baixa;

SE emfase e' iniciomt E setup e' regular

ENTAO priorid = media;

SE emfase e' iniciomt E setup e' bom

ENTAO priorid = media;

SE emfase e' iniciomt E setup e' otimo

ENTAO priorid = alta;

SE emfase e' atrasopq E setup e' pessimo

ENTAO priorid = media;

SE emfase e' atrasopq E setup e' fraco

ENTAO priorid = media;

SE emfase e' atrasopq E setup e' regular

ENTAO priorid = alta;

SE emfase e' atrasopq E setup e' bom

ENTAO priorid = alta;

SE emfase e' atrasopq E setup e' otimo

ENTAO priorid = muialta;

SE emfase e' atrasomd E setup e' pessimo

ENTAO priorid = media;

SE emfase e' atrasomd E setup e' fraco

ENTAO priorid = alta;

SE emfase e' atrasomd E setup e' regular

ENTAO priorid = alta;

SE emfase e' atrasomd E setup e' bom

ENTAO priorid = muialta;

SE emfase e' atrasomd E setup e' otimo

ENTAO priorid = muialta;

SE emfase e' atrasogr E setup e' pessimo

ENTAO priorid = alta;

SE emfase e' atrasogr E setup e' fraco

ENTAO priorid = alta;

SE emfase e' atrasogr E setup e' regular

ENTAO priorid = muialta;

SE emfase e' atrasogr E setup e' bom

ENTAO priorid = muialta;

SE emfase e' atrasogr E setup e' otimo

ENTAO priorid = muialta;

FIM_META_REGRAS

POSPROCESSAMENTO

```
{  
  defuzzyfica( priorid );  
}
```

Apêndice B

Tabelas dos resultados das programações de produção

Tabela B.1. Programa de produção gerado a partir da regra SPT

Data	Hora	Op.	Descricao	Qtde.	Larg.	L-C	Comp.	Esp.	Cor	Em	Dt. Ent.
07/01/93	0.00	780601	CH. CINZA	1205.0	1020.0	•	1385.0	4.00	1550	-1	11/01/93
07/01/93	1.72	807001	CH. BRANCO	24.0	620.0	*2	720.0	5.00	9030	-8	20/01/93
07/01/93	2.25	800401	CH. NATURAL	44.0	735.0	•	1600.0	1.50	0001	-5	15/01/93
07/01/93	2.83	787301	CH. BRANCO	97.0	440.0	•	600.0	3.50	9370	-2	12/01/93
07/01/93	3.52	793901	CH. PRETO	144.0	600.0	•	800.0	1.40	0051	-1	11/01/93
07/01/93	3.97	786751	CH. BRANCO	270.1	850.0	•	900.0	6.00	9030	0	11/01/93
07/01/93	4.98	810001	CH. PRETO	250.0	600.0	•	900.0	4.00	0051	-10	22/01/93
07/01/93	5.63	804001	CH. CINZA	250.0	745.0	•	825.0	3.00	0513	-10	23/01/93
07/01/93	6.62	803901	CH. CINZA	250.0	745.0	•	825.0	2.00	0513	-10	23/01/93
07/01/93	7.18	803801	CH. CINZA	250.0	745.0	•	825.0	1.50	0513	-10	23/01/93
07/01/93	7.75	812501	CH. PRETO	297.0	600.0	•	600.0	4.00	0051	-8	20/01/93
07/01/93	8.82	812601	CH. PRETO	303.0	600.0	•	600.0	4.00	0051	-8	20/01/93
07/01/93	9.48	807701	CH. BRANCO	282.0	660.0	•	1330.0	1.50	9030	-6	18/01/93
07/01/93	10.52	787401	CH. BRANCO	328.0	640.0	•	1220.0	4.00	9370	-2	12/01/93
07/01/93	11.65	773201	CH. BRANCO	318.0	670.0	•	1510.0	1.50	9370	1	07/01/93
07/01/93	12.35	799251	CH. CINZA	331.9	800.0	•	1470.0	1.20	1633	2	08/01/93
07/01/93	13.50	772601	CH. BRANCO	376.0	760.0	•	1450.0	1.30	9370	1	07/01/93
07/01/93	14.73	794501	CH. BRANCO	400.0	670.0	•	970.0	1.00	9370	0	08/01/93
07/01/93	16.02	800301	CH. NATURAL	453.0	1250.0	•	2300.0	1.50	0001	-5	15/01/93
07/01/93	17.40	752301	CH. BRANCO	500.0	610.0	*2	810.0	3.00	9013	-14	28/01/93
07/01/93	18.87	804101	CH. CINZA	500.0	600.0	*2	780.0	5.00	0513	-10	23/01/93
08/01/93	0.33	807801	CH. BRANCO	526.0	660.0	•	1330.0	2.80	9030	-5	18/01/93
08/01/93	1.85	799001	CH. PRETO	500.0	430.0	•	650.0	1.70	0051	-4	16/01/93
08/01/93	3.32	752201	CH. BRANCO	500.0	610.0	•	810.0	3.00	9013	-4	15/01/93
08/01/93	4.78	785701	CH. CARAMELO	500.0	550.0	•	750.0	2.00	0544	0	11/01/93
08/01/93	6.25	791401	CH. CARAMELO	500.0	550.0	•	750.0	2.00	0544	0	11/01/93
08/01/93	7.30	791801	CH. BRANCO	540.0	440.0	•	640.0	1.50	9030	3	06/01/93
08/01/93	8.85	800101	CH. BEGE	545.0	550.0	•	750.0	2.80	2730	-4	17/01/93
08/01/93	10.42	803501	CH. BRANCO	600.0	600.0	•	1050.0	5.00	9030	-3	14/01/93
08/01/93	12.08	813851	CH. BEGE	644.1	800.0	•	1520.0	3.00	2180	-8	26/01/93
08/01/93	13.83	802901	CH. BRANCO	645.0	620.0	•	1320.0	2.50	9370	-5	18/01/93
08/01/93	15.60	793401	CH. CARAMELO	650.0	550.0	•	750.0	2.00	0544	1	08/01/93
08/01/93	17.37	799151	CH. BRANCO	765.1	860.0	•	1680.0	3.00	2180	-8	26/01/93
08/01/93	19.37	793851	CH. CINZA	803.3	600.0	•	910.0	2.50	5215	-1	15/01/93
11/01/93	1.10	801051	CH. BEGE	858.7	600.0	•	1520.0	3.00	2180	-1	08/01/93
11/01/93	3.28	775751	CH. PRETO	988.7	750.0	•	1280.0	3.50	0051	-9	28/01/93
11/01/93	5.72	757051	CH. PRETO	988.6	750.0	•	1280.0	3.50	0051	4	11/01/93
11/01/93	7.73	795701	CH. CREME	1000.0	600.0	•	725.0	2.50	5140	5	05/01/93
11/01/93	10.18	800201	CH. BRANCO	1000.0	750.0	•	890.0	4.50	9370	-2	14/01/93
11/01/93	12.63	795801	CH. CREME	1000.0	600.0	•	725.0	2.50	5140	-2	14/01/93
11/01/93	15.08	806801	CH. NATURAL	998.0	965.0	*2	2080.0	1.50	0001	-4	18/01/93
11/01/93	17.53	806701	CH. CINZA	1000.0	720.0	•	840.0	1.50	1023	-8	23/01/93
11/01/93	19.98	809901	CH. PRETO	1180.0	600.0	•	900.0	4.00	0051	-8	22/01/93
12/01/93	2.47	780602	CH. CINZA	1205.0	1020.0	•	1385.0	4.00	1550	1	12/01/93
12/01/93	5.33	807901	CH. PRETO	1306.0	430.0	*2	710.0	2.00	0051	-3	18/01/93
12/01/93	8.38	779501	CH. GRAFITE	1500.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	-9	26/01/93
12/01/93	11.82	779201	CH. GRAFITE	1500.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	-4	19/01/93
12/01/93	14.83	793751	CH. CINZA	1659.5	600.0	*2	940.0	2.50	5215	1	15/01/93
12/01/93	18.58	778601	CH. GRAFITE	2000.0	600.0	*2	1100.0	2.00	0535	1	12/01/93
13/01/93	2.67	777501	CH. GRAFITE	2000.0	600.0	*2	1100.0	2.00	0535	7	05/01/93
13/01/93	6.67	807201	CH. GRAFITE	2350.0	600.0	*2	1820.0	2.00	0510	-4	20/01/93
13/01/93	11.77	796102	CH. BEGE	2522.0	775.0	•	1510.0	2.00	5145	-2	18/01/93
13/01/93	17.22	796101	CH. BEGE	2837.0	775.0	•	1510.0	2.00	5145	2	12/01/93
14/01/93	2.87	770351	CH. BRANCO	3308.4	800.0	•	910.0	1.20	9440	6	06/01/93
14/01/93	9.87	796901	CH. BEGE	3884.0	850.0	•	1220.0	3.50	2630	-1	18/01/93
14/01/93	17.65	796301	CH. BEGE	5826.0	850.0	•	1220.0	3.50	2630	4	11/01/93
15/01/93	9.17	780551	CH. BRANCO	6864.0	810.0	•	1200.0	2.50	9388	5	11/01/93
18/01/93	3.13	770151	CH. CINZA	12474.0	830.0	•	1420.0	1.20	1633	10	04/01/93

Tabela B.2. Programa de Produção gerado a partir da regra EDD

Data	Hora	Op.	Descricao	Qtde.	Larg.	L-C	Comp	Esp	Cor	Em	Dt. Ent.
07/01/93	0.00	780601	CH. CINZA	1205.0	1020.0	•	1385.0	4.00	1550	-1	11/01/93
07/01/93	1.72	770151	CH. CINZA	12474.0	830.0	•	1420.0	1.20	1633	3	04/01/93
08/01/93	6.70	777501	CH. GRAFITE	2000.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	4	05/01/93
08/01/93	11.12	795701	CH. CREME	1000.0	600.0	•	725.0	2.50	5140	4	05/01/93
08/01/93	13.57	791801	CH. BRANCO	540.0	440.0	•	640.0	1.50	9030	3	06/01/93
08/01/93	15.12	799251	CH. CINZA	331.9	800.0	•	1470.0	1.20	1633	3	08/01/93
08/01/93	16.25	757051	CH. PRETO	988.7	750.0	•	1280.0	3.50	0051	3	11/01/93
08/01/93	18.68	770351	CH. BRANCO	3308.4	800.0	•	910.0	1.20	9440	2	08/01/93
11/01/93	5.68	772601	CH. BRANCO	376.0	760.0	•	1450.0	1.30	9370	3	07/01/93
11/01/93	6.92	773201	CH. BRANCO	318.0	670.0	•	1510.0	1.50	9370	3	07/01/93
11/01/93	8.03	794501	CH. BRANCO	400.0	670.0	•	970.0	1.00	9370	2	08/01/93
11/01/93	8.90	793401	CH. CARAMELO	650.0	550.0	•	750.0	2.00	0544	2	08/01/93
11/01/93	10.67	788751	CH. BRANCO	270.1	850.0	•	900.0	6.00	9030	2	11/01/93
11/01/93	11.68	780551	CH. BRANCO	6884.0	810.0	•	1200.0	2.50	9388	1	11/01/93
12/01/93	5.65	785701	CH. CARAMELO	500.0	550.0	•	750.0	2.00	0544	2	11/01/93
12/01/93	7.12	791401	CH. CARAMELO	500.0	550.0	•	750.0	2.00	0544	2	11/01/93
12/01/93	8.17	796301	CH. BEGE	5826.0	850.0	•	1220.0	3.50	2630	2	11/01/93
13/01/93	0.10	793901	CH. PRETO	144.0	600.0	•	800.0	1.40	0051	3	11/01/93
13/01/93	0.87	778801	CH. GRAFITE	2000.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	2	12/01/93
13/01/93	5.28	793751	CH. CINZA	1659.5	600.0	•	940.0	2.50	5215	2	15/01/93
13/01/93	9.03	793851	CH. CINZA	803.3	600.0	•	910.0	2.50	5215	2	15/01/93
13/01/93	10.68	780602	CH. CINZA	1205.0	1020.0	•	1385.0	4.00	1550	2	12/01/93
13/01/93	13.55	787301	CH. BRANCO	97.0	440.0	•2	600.0	3.50	9370	2	12/01/93
13/01/93	14.23	787401	CH. BRANCO	328.0	640.0	•	1220.0	4.00	9370	2	12/01/93
13/01/93	15.57	796101	CH. BEGE	2837.0	775.0	•	1510.0	2.00	5145	2	12/01/93
14/01/93	1.43	801051	CH. BEGE	858.7	800.0	•	1520.0	3.00	2180	2	08/01/93
14/01/93	3.20	795801	CH. CREME	1000.0	600.0	•	725.0	2.50	5140	1	14/01/93
14/01/93	5.65	800201	CH. BRANCO	1000.0	750.0	•	890.0	4.50	9370	1	14/01/93
14/01/93	8.10	803501	CH. BRANCO	600.0	600.0	•	1050.0	5.00	9030	1	14/01/93
14/01/93	9.77	752201	CH. BRANCO	500.0	610.0	•	810.0	3.00	9013	0	15/01/93
14/01/93	10.82	800101	CH. BEGE	545.0	550.0	•	750.0	2.80	2730	0	17/01/93
14/01/93	12.38	799001	CH. PRETO	500.0	430.0	•	650.0	1.70	0051	0	16/01/93
14/01/93	13.85	800401	CH. NATURAL	44.0	735.0	•	1600.0	1.50	0001	0	15/01/93
14/01/93	14.43	800301	CH. NATURAL	453.0	1250.0	•	2300.0	1.50	0001	0	15/01/93
14/01/93	15.82	806801	CH. NATURAL	998.0	965.0	•2	2080.0	1.50	0001	-1	18/01/93
14/01/93	16.27	807701	CH. BRANCO	282.0	660.0	•	1330.0	1.50	9030	-1	18/01/93
14/01/93	19.30	802901	CH. BRANCO	645.0	620.0	•	1320.0	2.50	9370	-1	18/01/93
15/01/93	1.07	807801	CH. BRANCO	526.0	660.0	•	1330.0	2.80	9030	0	18/01/93
15/01/93	2.58	796102	CH. BEGE	2522.0	775.0	•	1510.0	2.00	5145	0	18/01/93
15/01/93	8.02	796901	CH. BEGE	3684.0	850.0	•	1220.0	3.50	2630	0	18/01/93
15/01/93	15.72	807901	CH. PRETO	1306.0	430.0	•2	710.0	2.00	0051	0	18/01/93
15/01/93	18.43	779201	CH. GRAFITE	1500.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	-1	19/01/93
18/01/93	1.87	807201	CH. GRAFITE	2350.0	600.0	•2	1820.0	2.00	0510	-1	20/01/93
18/01/93	6.97	812501	CH. PRETO	297.0	600.0	•2	600.0	4.00	0051	-1	20/01/93
18/01/93	7.62	812601	CH. PRETO	303.0	600.0	•2	600.0	4.00	0051	-1	20/01/93
18/01/93	8.28	807001	CH. BRANCO	24.0	620.0	•2	720.0	5.00	9030	-1	20/01/93
18/01/93	8.83	799151	CH. BRANCO	765.1	860.0	•	1680.0	3.00	2180	-2	26/01/93
18/01/93	10.83	813851	CH. BEGE	644.1	800.0	•	1520.0	3.00	2180	-2	26/01/93
18/01/93	12.58	803801	CH. CINZA	250.0	745.0	•	825.0	1.50	0513	-3	23/01/93
18/01/93	13.23	804101	CH. CINZA	500.0	600.0	•	780.0	5.00	0513	-3	23/01/93
18/01/93	14.70	803901	CH. CINZA	250.0	745.0	•	825.0	2.00	0513	-3	23/01/93
18/01/93	15.27	806701	CH. CINZA	1000.0	720.0	•	840.0	1.50	1023	-3	23/01/93
18/01/93	17.30	804001	CH. CINZA	250.0	745.0	•	825.0	3.00	0513	-3	23/01/93
18/01/93	18.28	809901	CH. PRETO	1180.0	600.0	•	900.0	4.00	0051	-3	22/01/93
19/01/93	0.77	810001	CH. PRETO	250.0	600.0	•	900.0	4.00	0051	-2	22/01/93
19/01/93	1.33	775751	CH. PRETO	988.7	750.0	•	1280.0	3.50	0051	-3	28/01/93
19/01/93	3.77	779501	CH. GRAFITE	1500.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	-4	26/01/93
19/01/93	7.20	752301	CH. BRANCO	500.0	610.0	•	810.0	3.00	9013	-6	28/01/93

Tabela B.3. Programa de produção baseado na Prática Corrente

Data	Hora	Op.	Descricao	Qtde	Larg.	L-C	Comp	Esp	Cor	Em	Dt. Ent
07/01/93	0.00	780601	CH. CINZA	1205.0	1020.0	•	1385.0	4.00	1550	-1	11/01/93
07/01/93	5.33	780602	CH. CINZA	1205.0	1020.0	•	1385.0	4.00	1550	-2	12/01/93
07/01/93	1.72	793851	CH. CINZA	803.3	600.0	•	910.0	2.50	5215	-2	15/01/93
07/01/93	3.20	793751	CH. CINZA	1659.6	600.0	•	940.0	2.50	5215	-2	15/01/93
07/01/93	7.48	793901	CH. PRETO	144.0	600.0	*2	800.0	1.40	0051	-1	11/01/93
07/01/93	8.18	757051	CH. PRETO	988.7	750.0	•	1280.0	3.50	0051	2	11/01/93
07/01/93	10.20	775751	CH. PRETO	988.7	750.0	•	1280.0	3.50	0051	-11	28/01/93
07/01/93	11.60	772601	CH. BRANCO	376.0	780.0	•	1450.0	1.30	9370	1	07/01/93
07/01/93	12.83	773201	CH. BRANCO	318.0	670.0	•	1510.0	1.50	9370	1	07/01/93
07/01/93	13.95	791801	CH. BRANCO	540.0	440.0	•	840.0	1.50	9030	2	06/01/93
07/01/93	15.50	770351	CH. BRANCO	3308.4	800.0	•	910.0	1.20	9440	1	06/01/93
08/01/93	2.50	813851	CH. BEGE	644.1	800.0	•	1520.0	3.00	2180	-8	26/01/93
08/01/93	3.65	770151	CH. CINZA	7935.0	830.0	•	1420.0	1.20	1633	4	04/01/93
11/01/93	8.22	799251	CH. CINZA	332.0	800.0	•	1470.0	1.20	1633	4	08/01/93
11/01/93	9.37	777501	CH. GRAFITE	2000.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	5	05/01/93
11/01/93	13.78	778601	CH. GRAFITE	2000.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	0	12/01/93
11/01/93	17.78	799001	CH. PRETO	500.0	430.0	•	850.0	1.70	0051	-3	16/01/93
11/01/93	18.83	796101	CH. BEGE	2837.0	775.0	•	1510.0	2.00	5145	0	12/01/93
12/01/93	4.90	796301	CH. BEGE	5826.0	850.0	•	1220.0	3.50	2630	2	11/01/93
12/01/93	16.42	796901	CH. BEGE	3884.0	850.0	•	1220.0	3.50	2630	-3	18/01/93
13/01/93	4.12	795801	CH. CREME	1000.0	600.0	•	725.0	2.50	5140	0	14/01/93
13/01/93	6.57	795701	CH. CREME	1000.0	600.0	•	725.0	2.50	5140	7	05/01/93
13/01/93	8.60	793401	CH. CARAMELO	650.0	550.0	•	750.0	2.00	0544	4	08/01/93
13/01/93	9.97	785701	CH. CARAMELO	500.0	550.0	•	750.0	2.00	0544	3	11/01/93
13/01/93	10.72	791401	CH. CARAMELO	500.0	550.0	•	750.0	2.00	0544	3	11/01/93
13/01/93	11.77	752201	CH. BRANCO	500.0	610.0	•	810.0	3.00	9013	-1	15/01/93
13/01/93	12.42	752301	CH. BRANCO	500.0	610.0	•	810.0	3.00	9013	-10	28/01/93
13/01/93	13.07	780551	CH. BRANCO	6864.0	810.0	•	1200.0	2.50	9388	5	11/01/93
14/01/93	7.03	803501	CH. BRANCO	600.0	600.0	•	1050.0	5.00	9030	1	14/01/93
14/01/93	8.08	807001	CH. BRANCO	24.0	620.0	•	720.0	5.00	9030	-3	20/01/93
14/01/93	8.18	786751	CH. BRANCO	270.1	850.0	•	900.0	6.00	9030	5	11/01/93
14/01/93	9.20	801051	CH. BEGE	858.7	800.0	•	1520.0	3.00	2180	2	08/01/93
14/01/93	11.00	800101	CH. BEGE	545.0	550.0	•	750.0	2.80	2730	0	17/01/93
14/01/93	12.17	799151	CH. BRANCO	765.1	860.0	•	1680.0	3.00	2160	-4	26/01/93
14/01/93	13.82	796102	CH. BEGE	2522.0	775.0	•	1510.0	2.00	5145	-1	18/01/93
14/01/93	19.25	806801	CH. NATURAL	998.0	965.0	*2	2080.0	1.50	0001	-1	18/01/93
15/01/93	1.23	807701	CH. BRANCO	282.0	660.0	•	1330.0	1.50	9030	0	18/01/93
15/01/93	2.70	807801	CH. BRANCO	526.0	660.0	•	1330.0	2.80	9030	0	18/01/93
15/01/93	3.62	800301	CH. NATURAL	453.0	1250.0	•	2300.0	1.50	0001	1	15/01/93
15/01/93	4.80	800401	CH. NATURAL	44.0	735.0	•	1600.0	1.50	0001	1	15/01/93
15/01/93	5.37	802901	CH. BRANCO	645.0	620.0	•	1320.0	2.50	9370	0	18/01/93
15/01/93	7.15	787301	CH. BRANCO	97.0	440.0	•	600.0	3.50	9370	4	12/01/93
15/01/93	7.83	787401	CH. BRANCO	328.0	640.0	•	1220.0	4.00	9370	4	12/01/93
15/01/93	8.55	800201	CH. BRANCO	1000.0	750.0	•	890.0	4.50	9370	2	14/01/93
15/01/93	10.42	794501	CH. BRANCO	400.0	670.0	•	970.0	1.00	9370	6	08/01/93
15/01/93	11.68	806701	CH. CINZA	1000.0	720.0	•	840.0	1.50	1023	-4	23/01/93
15/01/93	13.50	803801	CH. CINZA	250.0	745.0	•	825.0	1.50	0513	-4	23/01/93
15/01/93	14.40	803901	CH. CINZA	250.0	745.0	•	825.0	2.00	0513	-4	23/01/93
15/01/93	14.87	804001	CH. CINZA	250.0	745.0	•	825.0	3.00	0513	-4	23/01/93
15/01/93	15.32	804101	CH. CINZA	500.0	600.0	•	780.0	5.00	0513	-4	23/01/93
15/01/93	15.87	812501	CH. PRETO	297.0	600.0	•	600.0	4.00	0051	-2	20/01/93
15/01/93	16.67	812601	CH. PRETO	303.0	600.0	•	600.0	4.00	0051	-2	20/01/93
15/01/93	17.05	809901	CH. PRETO	1180.0	600.0	•	900.0	4.00	0051	-4	22/01/93
15/01/93	18.35	810001	CH. PRETO	250.0	600.0	•	900.0	4.00	0051	-4	22/01/93
15/01/93	18.68	807901	CH. PRETO	1306.0	430.0	•	710.0	2.00	0051	0	18/01/93
18/01/93	1.32	807201	CH. GRAFITE	2350.0	600.0	•	1820.0	2.00	0510	-1	20/01/93
18/01/93	4.92	779201	CH. GRAFITE	1500.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	0	19/01/93
18/01/93	6.97	779501	CH. GRAFITE	1500.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	-5	26/01/93

Tabela B.4. Programa de produção gerado pelo sistema no modo de Sequenciamento Automático

Data	Hora	Op.	Descrição	Qtde	Larg.	L-C	Comp	Esp	Cor	Em	Dt. Ent.
07/01/93	0.00	780601	CH. CINZA	1205.0	1020.0	•	1385.0	4.00	1550	-1	11/01/93
07/01/93	1.72	770151	CH. CINZA	7935.0	830.0	•	1420.0	1.20	1633	3	04/01/93
08/01/93	6.70	799251	CH. CINZA	332.0	800.0	•	1470.0	1.20	1633	3	08/01/93
08/01/93	7.85	757051	CH. PRETO	988.7	750.0	•	1280.0	3.50	0051	4	11/01/93
08/01/93	9.67	777501	CH. GRAFITE	2000.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	4	05/01/93
08/01/93	14.08	795701	CH. CREME	1000.0	600.0	•	725.0	2.50	5140	4	05/01/93
08/01/93	16.53	791801	CH. BRANCO	540.0	440.0	•	640.0	1.50	9030	3	06/01/93
08/01/93	18.08	773201	CH. BRANCO	318.0	670.0	•	1510.0	1.50	9370	2	07/01/93
08/01/93	18.78	770351	CH. BRANCO	3308.4	800.0	•	910.0	1.20	9440	2	06/01/93
11/01/93	5.78	772601	CH. BRANCO	376.0	760.0	•	1450.0	1.30	9370	3	07/01/93
11/01/93	7.02	794501	CH. BRANCO	400.0	670.0	•	970.0	1.00	9370	2	08/01/93
11/01/93	8.30	793401	CH. CARAMELO	650.0	550.0	•	750.0	2.00	0544	2	08/01/93
11/01/93	10.07	786751	CH. BRANCO	270.1	850.0	•	900.0	6.00	9030	2	11/01/93
11/01/93	11.08	787301	CH. BRANCO	97.0	440.0	•2	600.0	3.50	9370	0	12/01/93
11/01/93	11.35	796301	CH. BEGE	5826.0	850.0	•	1220.0	3.50	2630	1	11/01/93
12/01/93	3.28	780551	CH. BRANCO	6864.0	810.0	•	1200.0	2.50	9388	2	11/01/93
12/01/93	17.25	785701	CH. CARAMELO	500.0	550.0	•	750.0	2.00	0544	2	11/01/93
12/01/93	18.72	791401	CH. CARAMELO	500.0	550.0	•	750.0	2.00	0544	2	11/01/93
12/01/93	19.77	793751	CH. CINZA	1659.6	600.0	•	940.0	2.50	5215	2	15/01/93
13/01/93	3.52	793851	CH. CINZA	803.3	600.0	•	910.0	2.50	5215	3	15/01/93
13/01/93	5.17	793901	CH. PRETO	144.0	600.0	•	800.0	1.40	0051	3	11/01/93
13/01/93	5.60	778601	CH. GRAFITE	2000.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	2	12/01/93
13/01/93	10.02	780602	CH. CINZA	1205.0	1020.0	•	1385.0	4.00	1550	2	12/01/93
13/01/93	12.88	796101	CH. BEGE	2837.0	775.0	•	1510.0	2.00	5145	2	12/01/93
13/01/93	18.95	787401	CH. BRANCO	328.0	640.0	•	1220.0	4.00	9370	2	12/01/93
14/01/93	0.08	801051	CH. BEGE	858.7	800.0	•	1520.0	3.00	2180	2	08/01/93
14/01/93	2.27	800101	CH. BEGE	545.0	550.0	•	750.0	2.80	2730	0	17/01/93
14/01/93	3.83	795801	CH. CREME	1000.0	600.0	•	725.0	2.50	5140	1	14/01/93
14/01/93	6.28	800201	CH. BRANCO	1000.0	750.0	•	890.0	4.50	9370	1	14/01/93
14/01/93	8.73	803501	CH. BRANCO	600.0	600.0	•	1050.0	5.00	9030	1	14/01/93
14/01/93	10.40	752201	CH. BRANCO	500.0	610.0	•	810.0	3.00	9013	0	15/01/93
14/01/93	11.45	807801	CH. BRANCO	526.0	660.0	•	1330.0	2.80	9030	-1	18/01/93
14/01/93	12.97	802901	CH. BRANCO	645.0	620.0	•	1320.0	2.50	9370	-1	18/01/93
14/01/93	14.73	807701	CH. BRANCO	282.0	660.0	•	1330.0	1.50	9030	-1	18/01/93
14/01/93	15.78	800401	CH. NATURAL	44.0	735.0	•	1600.0	1.50	0001	0	15/01/93
14/01/93	16.37	806801	CH. NATURAL	998.0	465.0	•2	2080.0	1.50	0001	-1	18/01/93
14/01/93	18.82	800301	CH. NATURAL	453.0	1250.0	•	2300.0	1.50	0001	0	15/01/93
15/01/93	0.20	807001	CH. BRANCO	24.0	620.0	•2	720.0	5.00	9030	-2	20/01/93
15/01/93	0.75	796901	CH. BEGE	3884.0	850.0	•	1220.0	3.50	2630	0	18/01/93
15/01/93	8.87	796102	CH. BEGE	2522.0	775.0	•	1510.0	2.00	5145	0	18/01/93
15/01/93	14.32	799001	CH. PRETO	500.0	430.0	•2	650.0	1.70	0051	1	16/01/93
15/01/93	15.45	807901	CH. PRETO	1306.0	430.0	•2	710.0	2.00	0051	0	18/01/93
15/01/93	18.08	779201	CH. GRAFITE	1500.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	-1	19/01/93
18/01/93	1.52	807201	CH. GRAFITE	2350.0	600.0	•2	1820.0	2.00	0510	-1	20/01/93
18/01/93	6.62	812501	CH. PRETO	297.0	600.0	•2	600.0	4.00	0051	-1	20/01/93
18/01/93	7.27	812601	CH. PRETO	303.0	600.0	•2	600.0	4.00	0051	-1	20/01/93
18/01/93	7.93	809901	CH. PRETO	1180.0	600.0	•2	900.0	4.00	0051	-3	22/01/93
18/01/93	10.33	810001	CH. PRETO	250.0	600.0	•2	900.0	4.00	0051	-3	22/01/93
18/01/93	10.90	804101	CH. CINZA	500.0	600.0	•2	780.0	5.00	0513	-3	23/01/93
18/01/93	12.37	804001	CH. CINZA	250.0	745.0	•	825.0	3.00	0513	-3	23/01/93
18/01/93	13.35	813851	CH. BEGE	644.1	800.0	•	1520.0	3.00	2180	-2	26/01/93
18/01/93	15.10	799151	CH. BRANCO	765.1	860.0	•	1680.0	3.00	9440	-2	26/01/93
18/01/93	17.10	803801	CH. CINZA	250.0	745.0	•	825.0	1.50	0513	-3	23/01/93
18/01/93	18.08	803901	CH. CINZA	250.0	745.0	•	825.0	2.00	0513	-3	23/01/93
18/01/93	18.65	806701	CH. CINZA	1000.0	720.0	•	840.0	1.50	1023	-3	23/01/93
19/01/93	0.68	775751	CH. PRETO	988.7	750.0	•	1280.0	3.50	0051	-3	23/01/93
19/01/93	3.12	779501	CH. GRAFITE	1500.0	600.0	•	1100.0	2.00	0535	-4	26/01/93
19/01/93	6.55	752301	CH. BRANCO	500.0	610.0	•	810.0	3.00	9013	-6	28/01/93

Referências Bibliográficas:

1. Adelsberger, H.H., Kanet, J.J. - "The Leitstand - A New Tool for Computer-Integrated Manufacturing", *Production and Inventory Management Journal*, First Quarter, 1991
2. Alting, L., Bilberg, A., Larsen, N.E. - "Extended Applications of Simulation in Manufacturing", *Annals of the CIRP*, Vol. 37, No. 1, 1988
3. Artiba, A. & Tahon, C. - "Production Planning Knowledge-based System for Pharmaceutical Manufacturing Lines", *Europ. J. Oper. Res.*, Vol. 61 ??, 1992
4. Baker, K. - *Introduction to Sequencing and Scheduling*, New York: Wiley, 1974
5. Bechte, W. - "Theory and Practice of Load-oriented Manufacturing Control", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 26, No. 3, March, 1988
6. Bergman, R. - "The Role and Use of Exception Messages in Material Requirements Planning" - *Material Requirements Planning*, Auerbach Publishers Inc., 1986
7. Bermudez, J. - "Using MRP System to implement JIT in continuous improvement effort" - *Industrial Engineering*, Vol. 23, Novembro, 1991
8. Blackstone JR, J.H., Phillips, D.T. and Hogg, G.L. - "A State-of-the-Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations" - *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 20, No. 1, 1982
9. Bowman, J. - "Ten commandments of MRP" - *Industrial Engineering*, Vol. 23, No. 3, Março, 1991
10. Brandimarte, P. - "Neighbourhood search-based optimization algorithms for production scheduling: a survey", *Computer-Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 5, No. 2, 1992
11. Browne, J., Harhen, J. & Shivnan, J. - *Production Management Systems - A CIM Perspective*, Addison-Wesley, 1988
12. Bruno, G., Elia, A. and Laface, P. - "A Rule-Based System to Schedule Production" - *Computers*, Vol. C-19, No. 7, 1986

13. Buchholz, L.A. - "A Checklist of Material Requirements Planning Data Base Elements" - Material Requirements Planning, Auerbach Publishers Inc., 1986
14. Cheng, T.C.E. & Sin, C.C.S. - "A state-of-the-art review of parallel-machine scheduling researc" - European Journal of Operational Research - Vol. 47, no. 3, Agosto 15, 1990
15. Conway, R.W., Maxwell, W.L. and Miller, L.W. - Theory of Scheduling, REading, MA: Addison-Wesley, 1967
16. Conway, R.W. - "Priority Dispatching and Work-in-Process Inventory in a Job Shop" - The Journal of Industrial Engineering, vol.16, No.2, March/April, 1965
17. Conway, R.W. - "Priority Dispatching and Job Lateness in a Job Shop" - The Journal of Industrial Engineering, vol.16, No.4, July/August, 1965
18. Dobson, G., Karmarkar, U.S. and Rummel, J. - "A Closed Loop Automatic Schedulig System (Class)", Production Planning & Control, Vol. 3, No. 2, 1992
19. Dobson, G., Karmarkar, U.S. and Rummel, J. - "Batching to Minimize Flow Times on One Machine", Management Science, Vol. 33, No. 6, 1987
20. Dobson, G., Karmarkar, U.S. and Rummel, J.L. - "Batching to Minimize Flow Times on Parallel Heterogeneous Machines", Managent Science, Vol. 35, No. 5, May 1989
21. Dobson, G. & Karmarkar, U.S. - "Simultaneous Resource Schedulig to Minimize Weighted Flow Times", Operations Research, Vol. 37, No. 4, July-August, 1989
22. Fox, M.S. - Constraint-Direct Search: A Case Study of Job-Shop Schedulig, Pittsburg, PA: Carnegie-Mellon University, The Robotics Institute, CMU-RI-83-22, December, 1983
23. Gershwin, S.B., Hildebrant, R.R., Suri, R., Mitter, S.K. - "A Control Perspective on Recent Trends in Manufacturing Systems", IEEE Control Systems Magazine, April, 1986
24. Goldratt, E.M. & Fox, R.E. - A Corrida pela Vantagem Competitiva, IMAM, 1989
25. Gomide, F., Gudwin, R., Andrade, M.L. - "Controle de Processos por Lógica Fuzzy", Anais do V Congresso Nacional de Automação Industrial, São Paulo, SP, 1992

26. Gottesman, K. - "JIT Manufacturing is more than Inventory Programs and Delivery Schedules" - Industrial Engineering, Vol. 23, No. 5, Maio, 1991
27. Graves, S.C. - "A Review of production Scheduling" - Operational Research, Vol. 29, No. 4, July / August, 1981
28. Grobelny, J. - "The linguistic pattern method for a workstation layout analysis", Int. J. Prod. Res., Vol. 26, No. 11, 1988
29. Heber, R.E. & Klag, M.R. - "Using Finite Capacity Scheduling to Enhance Planning" - Master Production Scheduling, Auerbach Publishers Inc., 1986
30. Huang, P.Y. - "A comparative Study of Priority Dispatching Rules in a Hybrid Assembly/Job Shop", Int. J. Prod. Res., vol.22, No.3, 1984
31. Jackson, R.H.F. & Jones, A.W.T. - "An Architecture for Decision Making in the Factory of the Future", Interfaces, Vol. 17, No. 6, November/December, 1987
32. Jacobs, F.R. - "OPT uncovered: many Production Planning and Scheduling concepts can be applied with or without the software" - Industrial Engineering, Vol. 16, Outubro, 1984
33. Kanet, J.K. & Sridharan, V. - "The Electronic Leitstand: A New Tool for Shop Scheduling", Manufacturing Review, Vol. 3, No. 3, September 1990
34. Kanet, J.J. & Adelsberger, H.H. - "Expert Systems in Production Scheduling" - European Journal of Operational Research, vol. 37, MES ???, 1987
35. Karmarkar, U.S. - "Lot Sizes, Lead Times and In-process Inventories" - Management Science, Vol. 33, No. 3, March, 1987
36. Karwowski, W. & Evans G. - "Fuzzy concepts in production management research: a review", Int. J. Prod. Res., Vol. 24, No. 1, 1986
37. Kaufmann, A. - "Introduction to the theory of Fuzzy Subsets" - Academic Press, 1975
38. Kilmer, C.F. - "Shifting Paradigms: The Next Generation of Manufacturing Control Systems", APICS - The performance Advantage, September 1992

39. Klir, G.J. & Folger, T.A. - Fuzzy Sets, Uncertainty and Information, Prentice Hall, 1988
40. Kusiak, A. - "Designing Expert Systems for Scheduling of Automated Manufacturing" - Ind. Eng., July, 1987
41. Kusiak, A., Ahn, J. - "Intelligent Scheduling of Automated Machining Systems", Computer-Integrated Manufacturing Systems, Vol. 5, No. 1, Feb., 1992
42. Law, A.M. & Haider, S.W. - "Selecting Simulation Software for Manufacturing Applications: Practical Guidelines & Software Survey" - Ind. Eng., May, 1989
43. Lee, C.C. - "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part I", IEEE Trans. Syst. Man Cybern., vol. 20, no. 2, pp. 404-418, 1990
44. Lee, C.C. - "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part II" - IEEE Trans. Syst. Man Cybern., vol. 20, no. 2, pp. 419-435, 1990
45. Lethimaki, A.K. - "An approach for solving decision problems of master scheduling by utilizing theory of fuzzy sets", Int. J. Prod. Res., Vol. 25, No. 12, 1987
46. Liang, G. & Wang, M.J. - "A fuzzy multi-criteria decision-making method for facility site selection", Int. J. Prod. Res., Vol. 29, No. 11, 1991
47. Lima, P.C. & Agostinho, O.L. - "Tendências da Evolução dos Sistemas de Planejamento de Recursos de Manufatura para a Manufatura Integrada" - 9º SCNB - Seminário de Comando Numérico e Automatização Industrial, SOBRACON, Agosto, 1989
48. Liu, J. & MacCarthy, B.L. - "Effective heuristics for the single machine sequencing problem with ready times", Int. J. Prod. Res., Vol. 29, No. 8, 1991
49. Mahmood, F. & Dooley, K.J. - "Group Scheduling and Order Releasing: Review and Foundations for Research", Production Planning & Control, Vol. 3, No. 1, 1992
50. Melnyk, S.A. & Ragatz, G.L. - "Order review/release: research issues and perspectives", Int. J. Prod. Res., Vol. 27, No. 7, July, 1989

51. Mirsky, M. - "Process Industry Scheduling: The Missing Link", APICS - The performance Advantage, September 1992
52. Nilsson, N.J. - Principles of Artificial Intelligence, Tioga Publishing Co., Palo Alto, CA, 1980
53. Panwalkar, S.S. & Iskander, W. - "A Survey of Scheduling Rules"- Operations Research, Vol. 25, No. 1, January/February, 1977
54. Park, Y.B., Pegden, C.D., Enscore, E. E. - "A survey and evaluation of static scheduling heuristics" - Int. J. Prod. Res., Vol. 22, No. 1, 1984
55. Poon, J.L. - "Expert System for Integrated Production Planning and Control", Proc. 24th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Copenhagen, Denmark, June, 1992
56. Proud, J.F. - "Material Requirements Planning and Manufacturing Resource Planning" - Material Requirements Planning, Auerbach Publishers Inc., 1986
57. Ramsli, E. - "Modelling and Simulation of Manufacturing Systems", Annals of the CIRP, Vol. 38, No. 1, 1989
58. Rao, A. & Scheraga, D.I. - "Systems for Supporting the MRPII/JIT Environment" - CIM Review, Summer 1987
59. Raoot, A.D. & Rakshit, A. - "A fuzzy aproach to facilities lay-out planning", Int. J. Prod. Res., Vol. 29, No. 4, 1991
60. Roberts, H.J., Barrar, P.R.N. - "MRPII Implamentation: Key Factors for Success", Computer-Integrated Manufacturing Systems, Vol. 5, No.1, Feb., 1992
61. Rodammer, F.A. & White Jr., K.P. - "A Recent Survey of Production Scheduling" - IEEE Trans. Sys. Man and Cyber. -Vol. 18, No. 6, Novembro/Dezembro, 1988
62. Roderick, L.M., Phillips, D.T. & Hogg, G.L. - "A Comparison of Order Release Strategies in Production Control Systems", Int. J. Prod. Res., Vol. 30, No. 3, 1992
63. Sacomano, J.B. - "Uma análise da estrutura funcional do Planejamento e Controle da Produção e suas técnicas auxiliares", Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos da USP, 1990

64. Sandras, W.A. - Uma Guinada de 180° em Direção ao JIT/TQC, Livraria Editora Cátedra, 1989
65. Sigaard, K. & Bilberg, A. - "Simulation for Shop Floor Control" - Proc. 24th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Copenhagen, Denmark, June, 1992
66. Souza, A.S.; Albuquerque, A.R.P.L., Picinato, L.C.M. & Otsuka, T. - "Leitstand: Uma Integração entre Planejamento e Controle de Produção", Anais do V Congresso Nacional de Automação Industrial, São Paulo, SP, 1992
67. Spachis, A.S. & King, J.R. - "Job-shop scheduling heuristics with local neighbourhood search", Int. J. Prod. Res., Vol. 17, No. 6, 1979
68. Van Brussel, H., Cottrez, F., Valckenaers, P. - "SESFAC: A Scheduling Expert Systemn for Flexible Assembly Cell", Annals of CIRP, Vol. 39, No. 1, 1990
69. Vollmann, T.E., Berry, W.L. & Whybark, D.C. - Manufacturing Planning and Control Systems, Dow Jones-Irwin, 1988
70. Walde, E. - "Computer Simulation in Manufacturing", Production and Inventory Management Journal, Second quarter 1991
71. Wiendahl, H.-P., Glässner, J. and Petermann, D. - "Application of Load-oriented Manufacturing Control in Industry", Production Planning & Control, Vol. 3, No. 2, 1992
72. Wiendahl, H.-P. - "A New Control System for the Production Flow on the Bases of a Throughput Diagram", Annals of the 18th CIRP Manufacturing Systems Seminar, Stuttgart, Germany, June, 1986
73. Wiendahl, H.-P. - "The Throughput Diagram - An Universal Model for the Illustration, Control and Supervision of Logistic Process", Annals of the CIRP, Vol.37, No. 1, 1988
74. Wu, S.d., Wysk, R.A. - "An Inference Structure for the Control and Scheduling of Manufacturing Systems", Computers Ind. Eng., Vol. 18, No. 3, 1990
75. Wylie, L. - "ERP: Reading The Launch", Gartner Group Sixth Annual Computer-Integrated Manufacturing Conference, May 1992

76. Zadeh, L.A. - "Fuzzy Sets" - Information and Control, vol. 8, pp. 338-353, 1965
77. Zadeh, L.A. - "Fuzzy Algorithms" - Information and Control, vol. 12, pp. 94-102, 1968
78. Zadeh, L.A. - "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes", IEEE Trans. Syst. Man Cybern., vol. smc-3, no. 1, pp. 28-44, 1973
79. Zadeh, L.A. - "The Calculus of IF/THEN Rules", AI Expert, march, 1992

Bibliografia Consultada:

1. Agostinho, O.L. - "Estudo de Flexibilidade dos Sistemas Produtivos", Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1985
2. Artes, R.P. - "Performance Measurements for Material Requirements Planning", Material Requirements Planning, Auerbach Publishers Inc., 1986
3. Batocchio, A. - "Um Modelo de Índice de Automação relacionado à Flexibilidade e a Produtividade dos Sistemas de Manufatura", Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, 1991
4. Corrêa, H.L. - "Sistemas Integrados de Planejamento de Recursos de Manufatura: contribuição à análise de adequação e aplicação", Tese de Mestrado, Escola Politécnica, USP, 1983
5. Fernandes, C.A.O., Teixeira, E.M.A., Cury, J.E.R., Lima, P.C., Stange, P., Haddad, R.B.B. - "Sequenciamento de Lotes", Fundação Centro Tecnológico para Informática, DTIA. 02/86, Campinas, Setembro, 1986
6. Fullmann, C., Ritzman, L., Krajewski, L., Machado, M., Moura, R. - "MRP, MRPII, MRPIII, OPT, GDR", IMAM, São Paulo, 1989
7. Goldratt, E.M. & Cox, J. - A Meta, IMAM, 1986
8. Gooch, J., George, M.L., Montgomery, D.C. - "AMERICA CAN COMPETE", Institute of Business Technology, Dallas, 1987
9. Johnson, H.T., Kaplan, R.S. - "Relevant Lost - The Rise and Fall of Management Accounting", Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, 1987
10. Kandel, A. - "Fuzzy Mathematical Techniques", Addison-Wesley Publ. Co., Reading, Ma., 1986
11. Moura, R.A. - "KANBAN, a simplicidade do controle da produção", IMAM, São Paulo, 1989
12. Pipitone, F., - "Learning to use Net Change Material Requirements Plannig: Bourns Case Study", Material Requirements Planning, Auerbach Publishers Inc., 1986

13. Pires, S.R.I. - "Planejamento e Controle de Produção em indústrias que utilizam Tecnologia de Grupo: um modelo de sequenciamento da produção celular dependente dos tempos de preparação de máquinas", Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos da USP, 1989
14. Schorr, J.E. & Wallace, T.F. - "High Performance Purchasing", Oliver Wight, Vermont, 1986
15. Schultz, T.R. - "BRP, The Journey of Excellence", The Forum Ltd., Wisconsin, 1984
16. Skinner, W. - "Manufacturing, The Formidable competitive Weapon", John Wiley & Sons, New York, 1985
17. Ullmann, W. - "Logistical Performance Measurement is needed for Today's Production Planning and Control", Annals of the 24th CIRP International Seminar Manufacturing Systems, Copenhagen, Denmark, June, 1992