

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

RAUL LANDMANN

**UM MODELO HEURÍSTICO PARA A PROGRAMAÇÃO DA
PRODUÇÃO EM FUNDIÇÕES COM UTILIZAÇÃO DA LÓGICA *FUZZY***

TESE DE DOUTORADO

Florianópolis

2005

Raul Landmann

**UM MODELO HEURÍSTICO PARA A PROGRAMAÇÃO DA
PRODUÇÃO EM FUNDIÇÕES COM UTILIZAÇÃO DA LÓGICA *FUZZY***

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito parcial para obtenção do
grau de Doutor em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Rolf Hermann Erdmann, Dr.

Florianópolis

2005

Raul Landmann

**UM MODELO HEURÍSTICO PARA A PROGRAMAÇÃO DA
PRODUÇÃO EM FUNDIÇÕES COM UTILIZAÇÃO DA LÓGICA *FUZZY***

Esta tese foi julgada e aprovada para a obtenção do grau de **Doutor em Engenharia de Produção** no **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção** da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 15 de junho de 2005

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.

Coordenador do Programa

BANCA EXAMINADORA

Prof. Rolf Hermann Erdmann, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Orientador

Prof. Ricardo Roberto Behr, Dr.
Universidade Federal do Espírito Santo

Moderador - Membro Externo

Prof. Bruno Hartmut Kopittke, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dálvio Ferrari Tubino, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Michitoshi Oishi, Dr.
*Associação Internacional de Educação
Continuada / União Pioneira de Integração
Social - Membro Externo*

Profa. Luiza Maria Bessa Rebelo, Dra.
Universidade Federal do Amazonas
Membro Externo

Prof. Edelvino Razzolini Filho, Dr.
Faculdade Padre João Bagozzi

Membro Externo

A Marilena, e a meus filhos, Cristiano e Daniel, sem os quais este trabalho não teria sido possível e nem teria finalidade.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Santa Catarina.

À Universidade da Região de Joinville.

Ao orientador Prof. Doutor Rolf Hermann Erdmann.

Aos membros da Banca Examinadora, Professores Doutores Bruno Hartmut Kopittke, Dálvio Ferrari Tubino, Edelvino Razzolini Filho, Luiza Maria Bessa Rebelo, Michitoshi Oishi e Ricardo Roberto Behr.

Ao coordenador inicial do Programa de Pós-Graduação, Prof. Doutor Carlos Raul Borenstein e ao atual coordenador, Prof. Doutor Edson Pacheco Paladini.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação, Bruno Hartmut Kopittke, C. Celso de B. Camargo, João Ernesto Escosteguy Castro, Nelson Casarotto Filho e Osmar Possamai.

Aos Doutores Adalberto B. de Souza Santos, Evandro Bittencourt e Valdir Vegini.

Aos Mestres Agada H. Steffen dos Santos, Claudiomir Selner, Jerzy Wyrebski e Juliano Zaffalon Gerber.

Ao consultor Demétrio Eremeeff e aos profissionais entrevistados nas fundições visitadas.

Aos colegas docentes do Departamento de Administração e funcionários da Universidade da Região de Joinville.

À minha família.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta tese.

*“A humildade e o respeito ao Senhor
farão com que você seja sábio e honrado.*

*Você pode fazer seus planos, mas o
resultado final está nas mãos de Deus”.*

Provérbios 15.33,16.1

Resumo

LANDMANN, Raul. **Um Modelo Heurístico para a Programação da Produção em Fundições com Utilização da Lógica Fuzzy**. 2005. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. UFSC, Florianópolis.

Este trabalho descreve a concepção, desenvolvimento e aplicação de uma metodologia heurística para a programação e o controle da produção na indústria de fundição. O processo de fundição é muito peculiar e complexo, pois apresenta simultaneamente características de sistemas de produção contínua (fusão) e características de sistemas de produção repetitiva em lotes (moldagem e outras etapas do processo). A programação da produção numa fundição tem, portanto, dois momentos importantes e interligados, que são a programação do forno e a programação das máquinas de moldagem. Apesar de existirem diversas soluções para problemas de programação da produção da fundição, detectou-se, tanto na revisão de literatura como na pesquisa qualitativa do tipo estudo multicaso, a inexistência de uma metodologia para a programação conjunta e integrada da fusão e da moldagem, que é realizada pelos profissionais da fundição de maneira empírica e subjetiva. O desafio consiste em determinar um seqüenciamento adequado de ordens de produção nas linhas de moldagem, combinando peças leves com peças de peso médio e com peças pesadas, de modo a obter uma demanda constante de metal líquido e em equilíbrio com a oferta de metal proveniente do forno. Optou-se pela busca de uma solução através da abordagem heurística. A construção do modelo para a programação da fusão e da moldagem utiliza conceitos da lógica *fuzzy*, que oferece mecanismos para a representação e manipulação do conhecimento de especialistas. A lógica *fuzzy*, também conhecida como difusa ou nebulosa, é uma técnica que integra a área da inteligência artificial, utilizando conceitos qualitativos para classificar variáveis e dados aproximados, incompletos ou ambíguos para tomar decisões. A estrutura do modelo compõe-se de uma base de regras lingüísticas, definição dos limites máximos e mínimos dos conjuntos *fuzzy*, definição das interfaces de entrada e saída e criação do mecanismo de inferência. Os resultados da aplicação do modelo, implantado em uma planilha eletrônica com linguagem de macro Visual Basic, demonstram, além dos benefícios da sistematização do conhecimento e da capacidade de realizar rapidamente simulações para encontrar melhores alternativas de solução, um desempenho mais eficiente que o obtido pelos especialistas da fundição. Conclui-se que o método criado atende plenamente ao objetivo proposto – desenvolver um modelo heurístico para a programação simultânea e integrada da fusão e da moldagem – bem como corrobora a hipótese básica formulada por esse trabalho – um método heurístico, modelado com utilização da teoria de conjuntos *fuzzy*, inserido em um sistema de PCP, permite realizar a programação conjunta da fusão e da moldagem numa fundição, com equilíbrio, flexibilidade e rapidez.

Palavras-chave: programação da produção; heurística; lógica *fuzzy*; fundição.

Abstract

LANDMANN, Raul. **Um Modelo Heurístico para a Programação da Produção em Fundições com Utilização da Lógica *Fuzzy***. 2005. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. UFSC, Florianópolis.

This work describes the conception, development and application of a heuristic methodology for the production scheduling and control in the foundry industry. The foundry process is very peculiar and complex, because it presents simultaneously characteristics of continuous production systems (melting) and characteristics of repetitive batch production systems (moulding and other steps of the process). The foundry's production scheduling has, therefore, two important and linked moments that are the furnace scheduling and the moulding machines scheduling. Even though there are several solutions for the foundry's scheduling problems, it was detected in literature as well as in the qualitative research of the multicase study type, the inexistence of a methodology to integrate and linked melting and moulding scheduling, that is carried out by the foundry professionals in an empirical and subjective way. The challenge consists in determining an adequate sequencing of production orders in the moulding lines, combining parts of light weight with medium and heavy parts in order to obtain a constant demand of molten metal in balance with the offer of furnace derived metal. The heuristic approach was chosen to search for a solution of the problem. The construction of the model for the melting and moulding scheduling uses concepts of the *fuzzy* logic, which offers mechanisms for the representation and manipulation of experts knowledge. The *fuzzy* logic, also known as diffuse and nebulous, is a technique that integrates the artificial intelligence area, using qualitative concepts to classify approximate variables and data, incomplete or ambiguous to take decisions. The structure of the model is composed of a linguistic rules base, definition of the maximum and minimum limits of the *fuzzy* sets, definition of the input and output interfaces and creation of the inference mechanism. The application results of the model, implanted on an electronic sheet with a macro Visual Basic language demonstrated, besides the benefits of the knowledge systematization and the capacity of fast carrying out simulations to find the best alternatives of solution, a more efficient performance than the obtained by specialists of foundry. Based on the results, one can come to the conclusion that the created method totally meets the proposed objective, develop an heuristic model for the simultaneous and integrated melting and moulding scheduling, as well as corroborates the basic hypothesis formulated by this work, an heuristic method, modelled with the use of the *fuzzy* sets theory, inserted in a production planning and control system, allows the carrying out of a joined scheduling of the furnace and the moulding lines, with balance, flexibility and high speed.

Key-words: production scheduling, heuristics, *fuzzy* logic, foundry.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	12
Lista de Quadros	14
Lista de Tabelas	15
Lista de Siglas	16
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Apresentação do Tema	17
1.2 Descrição do Problema.....	19
1.3 Hipótese do Trabalho	24
1.4 Objetivos do Trabalho.....	24
1.5 Justificativa e Relevância do Tema	26
1.6 Limitações do Trabalho	31
1.7 Estrutura do Trabalho	32
2 REVISÃO LITERATURA	34
2.1 Introdução	34
2.2 Sistemas de Produção	35
2.3 Planejamento e Controle da Produção – Uma Visão Geral das Funções do PCP	40
2.3.1 Planejamento agregado	45
2.3.2 Planejamento da capacidade	46
2.3.3 Previsão de demanda.....	49
2.3.4 Planejamento do produto e do processo	49
2.3.5 Programação da produção	50
2.4 Técnicas de Programação da Produção.....	60
2.4.1 MRP e MRPII.....	62
2.4.2 <i>Kanban</i>	65
2.4.3 Tecnologia de produção otimizada (OPT)	67
2.4.4 Planejamento fino e controle da produção (PFCP)	70
2.4.5 Técnicas híbridas	73
2.4.6 O PCP e a manufatura integrada por computador	76
2.5 O Desafio da Programação da Produção	77

2.5.1 O problema da programação.....	78
2.5.2 Abordagens, modelos e métodos de solução: simulação, otimização e heurística.....	82
2.6 O PCP na Indústria de Fundição	93
2.6.1 O processo de fundição.....	93
2.6.2 O planejamento e a programação da produção em fundições	97
2.7 Marco Teórico	102
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	107
3.1 Caracterização da pesquisa	107
3.2 População	108
3.3 Coleta e tratamento dos dados	109
3.4 Etapas da construção do modelo para a programação da produção em fundições	111
3.5 Definição constitutiva dos principais termos	116
4 DESCRIÇÃO DOS CASOS.....	119
4.1 Caso A	119
4.2 Caso B	127
4.3 Caso C	134
4.4 Caso D	141
4.5 Análise Comparativa e Reflexões sobre os Casos Estudados	150
5 MODELO HEURÍSTICO PROPOSTO PARA A PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM FUNDIÇÕES BASEADO NA LÓGICA FUZZY.....	156
5.1 Construção do Modelo Heurístico para a Programação da Produção da Fundição	157
5.2 Generalização do Modelo Heurístico para a Programação da Produção da Fundição	168
5.3 Aplicação Prática e Resultados do Modelo Proposto	172
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	180
6.1 Conclusões	180
6.2 Recomendações para trabalhos futuros	182

REFERÊNCIAS.....	183
APÊNDICES	195
APÊNDICE A	196
APÊNDICE B	200
APÊNDICE C	206

Lista de Figuras

Figura I.1 - Modelo heurístico de integração na interface com o sistema de gestão e o sistema baseado no conceito de capacidade finita (APS).....	25
Figura II.1 - A função de Produção	36
Figura II.2 - Conceito de hierarquia de decisões de planejamento	42
Figura II.3 - Estrutura de um sistema de planejamento e controle da produção	44
Figura II.4 - Hierarquização dos planos	51
Figura II.5 - A dinâmica do PMP	52
Figura II.6 - Decisões no seqüenciamento de processos repetitivos em lotes.....	55
Figura II.7 - Inter-relações entre os módulos principais de um sistema MRPII típico.....	64
Figura II.8 - Relações de tempo no sistema tambor-pulmão-corda	70
Figura II.9 - Representação esquemática do funcionamento de um sistema de programação da produção com capacidade finita.	73
Figura II.10 - Representação esquemática de um sistema híbrido MRPII/JIT	74
Figura II.11 - Modelo em Y do sistema CIM.....	77
Figura II.12 - Configuração básica do modelo de planejamento de produção baseado em simulação	88
Figura II.13 - Sistema de planejamento de produção baseado em simulação – detalhes internos	88
Figura II.14 - Funções de pertinência da variável inflação	91
Figura II.15 - Configuração básica da estrutura de um sistema <i>fuzzy logic</i>	92
Figura II.16 - Vista transversal de um molde de fundição.....	94
Figura II.17 - Principais processos de uma fundição	95

Figura II.18 - <i>Lay-out</i> esquemático de uma fundição.....	97
Figura II.19 - Modelo básico da estrutura do sistema proposto para a programação e controle da produção de fundições	104
Figura III.1 - Representação esquemática da metodologia adotada.....	116
Figura IV.1 - Fluxograma do processo de fabricação – caso A.....	121
Figura IV.2 - Fluxograma do PCP – caso A.....	126
Figura IV.3 - Fluxograma do processo de fabricação – caso B.....	129
Figura IV.4 - Fluxograma do PCP – caso B.....	133
Figura IV.5 - Fluxograma do processo de fabricação – caso C.....	136
Figura IV.6 - Fluxograma do PCP – caso C.....	140
Figura IV.7 - Fluxograma do processo de fabricação – caso D.....	143
Figura IV.8 - Fluxograma do PCP – caso D.....	149
Figura IV.9 - Configuração genérica de um PCP nas fundições	154
Figura V.1 - Funções de inferência <i>fuzzy</i> da linha I.....	161
Figura V.2 – Heurística de factibilização do tipo 1	164
Figura V.3 – Heurística de factibilização do tipo 2	165
Figura V.4 Demanda de metal liquido (kg/hora) ao longo de uma jornada de trabalho	168
Figura V.5 – Estrutura do modelo heurístico baseado na lógica <i>fuzzy</i>	172
Figura V.6 - Demanda de metal ao longo do dia 15/4 (melhor alternativa).....	178

Lista de Quadros

Quadro II.1 – Características dos sistemas de produção por tipo de operação.....	40
Quadro II.2 – Cadeia hierárquica dos três níveis de decisão	43
Quadro II.3 – Informações necessárias a um plano de produção.....	46
Quadro II.4 – Regras de seqüenciamento	56
Quadro II.5 – Síntese comparativa dos modelos de solução	85
Quadro IV.1- Síntese da análise comparativa dos casos estudados	153
Quadro IV.2 – Combinações recomendáveis de peças simultaneamente em produção nas três linhas de moldagem	159
Quadro IV.3 – Alternativas de combinações não-recomendáveis (condições de rejeição)	160

Lista de Tabelas

Tabela V.1 - Conjuntos <i>fuzzy</i> equivalentes do universo de números da variável “peso da árvore”	161
Tabela V.2 – Programa de produção a ser sequenciado	162
Tabela V.3 – Dados de entrada no sistema heurístico	163
Tabela V.4 – Dados parciais do seqüenciamento de um programa de produção obtido em heurística baseada na lógica <i>fuzzy</i>	166
Tabela V.5 – Seqüenciamento do programa de produção obtido em heurística baseada na lógica <i>fuzzy</i> – apresentação compactada.....	167
Tabela V.6- Indicadores do programa do dia 12/4.....	173
Tabela V.7 - Indicadores do programa do dia 13/4.....	174
Tabela V.8 - Indicadores do programa do dia 14/4.....	175
Tabela V.9 - Indicadores do programa do dia 15/4.....	176
Tabela V.10 - Programa do dia 15/4 com seqüenciamento em ordem de código	
Tabela V.11 - Programa do dia 15/4 com seqüenciamento elaborado pelo especialista	177
Tabela V.12 - Programa do dia 15/4 com seqüenciamento elaborado pelo modelo heurístico (melhor alternativa).....	177

Lista de Siglas

ABIFA	Associação Brasileira de Fundição
APS	<i>Advanced Planning Systems</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CNC	Comando Numérico Computadorizado
CPM	<i>Critical Path Method</i>
DBR	<i>Drum-Buffer-Rope</i>
ERP	<i>Enterprise Resources Planning</i>
FCS	<i>Finite Capacity Systems</i>
ICR	Índice crítico
IFA	Índice de falta
IFO	Índice de folga
IPI	Índice de prioridade
JIT	<i>Just-in-Time</i>
L	Peças leves
M	Peças de peso médio
MDE	Menor data de entrega
MRP	<i>Materials Requirements Planning</i>
MRPII	<i>Manufacturing Resources Planning</i>
MTP	Menor tempo de processamento
OPT	<i>Optimized Production Technology</i>
P	Peças pesadas
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PEPS	Primeira que entra primeira que sai
PERT	<i>Program Evaluation and Review Technique</i>
PFCP	Planejamento fino e controle da produção
PMP	Programa-mestre de produção
RRC	Recurso com Restrição de Capacidade
SBCs	Sistemas Baseados no Conhecimento
TOC	<i>Theory of Constraints</i>
TPC	Tambor-Pulmão-Corda
VBA	<i>Visual Basic</i>

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Tema

Este trabalho aborda a programação e o controle da produção (PCP) em fundições, tanto àquelas direcionadas à venda para terceiros (conhecidas como fundições de mercado), como as que produzem componentes para utilização própria (conhecidas como fundições cativas).

Campos Filho e Davies (1978) assinalam que a base de todos os processos de fundição consiste em despejar metal líquido na cavidade de um molde com o formato requerido, seguindo-se um resfriamento, a fim de produzir um objeto sólido resultante da solidificação. Os moldes podem ser do tipo permanente, neste caso passíveis de serem utilizados várias vezes, ou utilizados apenas uma vez, quando confeccionados em areia, que é a situação mais comum.

O processo de fundição é muito peculiar e complexo, pois possui características híbridas, com aspectos muito diferenciados. A etapa da fusão se assemelha a um sistema de produção contínua, que requer uma sincronia perfeita com a etapa da moldagem, que opera em lotes. A macharia (processo de formação dos moldes que irão compor as partes ocas ou internas dos produtos fundidos) também opera em lotes, e pode possuir ingredientes que a tornam similar a uma linha de montagem. O acabamento dos fundidos e a usinagem apresentam o perfil de indústrias mecânicas típicas com produção repetitiva em lotes.

Programar a produção é uma tarefa extremamente difícil. A grande variedade de alternativas e a presença de imprevistos tornam muito complexa a definição sobre o que deve ser produzido, onde e quando fazê-lo, sem esquecer da complexa manutenção do equilíbrio entre a demanda e a capacidade produtiva.

As indústrias cujo sistema produtivo é orientado para o processo, que é o caso das fundições, não se adequam devidamente à sistemas de cálculo que utilizam a lógica do MRP (*Materials Requirements Planning*), baseada na estrutura de composição dos produto para determinar a carga de máquinas, e desenvolvida originariamente para indústrias de montagem. Por outro lado, o sistema *kanban* não é recomendado para situações onde a variabilidade de demanda é uma constante.

Com o desenvolvimento da informática, e com a necessidade de uma crescente flexibilidade para adaptações dinâmicas cada vez mais freqüentes, têm aumentado a utilização dos sistemas baseados no conceito de capacidade finita, conhecidos como *Advanced Planning Systems* (APS), ou como sistemas de planejamento fino da produção. O APS é um sistema de planejamento e programação avançado, que estende o poder dos sistemas de capacidade finita para além da questão da capacidade produtiva em relação à demanda, conforme salienta Zattar (2004). Os APS têm um escopo que vai desde o nível estratégico no desenho de redes logísticas até o nível operacional da programação detalhada de cada máquina no piso de fábrica, utilizando técnicas diversas para a geração de programas de produção, de materiais e de transporte. Algumas dessas técnicas procuram considerar as restrições relevantes para a geração dos programas que maximizem os objetivos de negócio colocados no momento para a empresa, tais como algoritmos genéticos, programação linear, heurística, regras de seqüenciamento e outras.

A essência da abordagem heurística reside na aplicação de rotinas seletivas que reduzem a dimensão do problema e pode ser usada para simular o padrão de decisão dos seres humanos, mostrando-se adequada para os tipos de indústrias que possuem grande complexidade, diversidade e dinamismo em seus processos.

Existem várias soluções para os problemas de programação da produção para as fundições de mercado, proporcionadas tanto por sistemas APS como por sistemas específicos desenvolvidos internamente. Entretanto, foi detectada, tanto na revisão bibliográfica como na pesquisa de campo, a inexistência de uma técnica especificamente voltada para identificar um programa de produção de curtíssimo prazo com um seqüenciamento tal que promova o equilíbrio da capacidade de geração de metal na fusão com a demanda de metal absorvido na moldagem. Esta carência é resolvida pelos programadores de produção, de forma subjetiva, através de procedimentos manuais que consideram regras práticas determinadas pela experiência acumulada ao longo do tempo.

A pesquisa realizada permitiu que estas regras fossem identificadas e, com base na lógica *fuzzy*, que oferece mecanismos para a representação e manipulação do conhecimento de especialistas, foi desenvolvido um modelo heurístico, objetivo deste trabalho, para seqüenciar as ordens de produção e gerar um programa de

produção capaz de promover o balanceamento equilibrado da fusão com a moldagem, e com flexibilidade suficiente para promover reprogramações com grande rapidez. Do ponto de vista de aplicação, este modelo pode ser utilizado de forma independente, em uma ferramenta que permite a manipulação do programa gerado por um APS ou por outro sistema, bem como pode ser incorporado diretamente num APS.

Este trabalho também trouxe para o meio acadêmico o conhecimento empírico existente na área de PCP de um importante segmento industrial, e a geração de um modelo que vai proporcionar soluções para as dificuldades existentes na programação da produção em ambientes industriais complexos, com restrições múltiplas e *set-ups* dependentes.

1.2 Descrição do Problema

A programação da produção numa fundição tem dois momentos importantes e interligados: a programação do forno (definição da liga a ser produzida em cada período) e a programação das máquinas de moldagem (definição dos moldes a serem produzidos). Este aspecto, salientado por Southall e Law (1980), é corroborado por Vianna e Arenales (1995). Araújo e Clark (2001) igualmente observam que existem duas decisões importantes e interligadas para o dimensionamento de lotes e programação da produção numa fundição: a programação do forno (operação de fusão), quando se deve decidir o tipo de liga a ser produzido em cada período de tempo, e a programação das máquinas de moldagem, que especifica quais e quantos itens serão produzidos a cada período.

Southall e Law (*op. cit.*) observam também que as operações pós-fusão, ditas de acabamento (desmoldagem, remoção de canais, limpeza e rebarbação) têm uma relação “em série” com as máquinas de moldagem, enquanto que operações pré-fusão, como a fabricação de machos e a preparação da carga para a liga, têm uma relação “paralela” com as máquinas de moldagem. Este aspecto faz com que a seqüência ótima para a fusão e a moldagem não necessariamente seja a mais adequada para os estágios pré e pós-fusão, ou seja, as condições de otimização para os diferentes estágios, independente do critério adotado, são diferentes. Outro

ponto levantado por Southall e Law (*op.cit.*) está relacionado ao tipo de operação da fundição. Fundições de mercado, que se dedicam a vendas para terceiros, em comparação com fundições “cativas”, cuja produção se destina basicamente para consumo próprio, e que trabalham para estoque, têm rotinas de programação diferenciadas, pois geralmente as ordens são muitas. As quantidades a serem produzidas por cada ordem, porém, são menores, com especificações técnicas diversas (dependendo do cliente). Isso requer instalações físicas com um escopo mais abrangente (menor especialização) e um *lay-out* mais flexível. De modo geral, a programação da produção em fundições, segundo esses autores, apresenta a tendência de otimizar o uso da capacidade das instalações e da mão-de-obra em detrimento às datas de entrega para os clientes.

A grande quantidade de variáveis envolvida num processo de fundição requer um balanceamento rigoroso do uso dos recursos produtivos, de forma sincronizada, através de um programa de produção que considera esses fatores, além das quantidades e prazos de entrega comprometidos com a clientela. Variações no *mix* de produtos e ausência de política de mercado estável, muito freqüentes em fundições de mercado, geralmente provocam alterações substanciais na carga dos recursos. Isso pode gerar estrangulamentos simultâneos em pontos diversos, requerendo soluções de otimização muito complexas.

No adequado balanceamento dos recursos e na geração de um programa de produção que proporcione um atendimento satisfatório da clientela, com elevado índice de aproveitamento da capacidade disponível, reside o ponto-chave para a obtenção de níveis de produção, produtividade, qualidade e custos adequados. Um dos insumos de maior custo em fundições, por exemplo, é a energia, cujo consumo é tremendamente afetado pela configuração do programa de produção em curso.

Por outro lado, existem ainda algumas questões que devem ser consideradas: por quanto tempo uma programação resiste até que apareça um pedido urgente, uma máquina quebre ou um operário falte ao trabalho por motivos dos mais diversos? Cada uma dessas situações obriga o programador a gastar um tempo significativo para realocar os trabalhos, trocar prioridades ou alterar rotas produtivas, na tentativa de cumprir as datas de entregas prometidas.

Outro aspecto a considerar também é a freqüência de reprogramação, que depende do tipo de manufatura. Tipicamente, pode ser feita uma vez por turno de

trabalho ou uma vez por dia. Existem ambientes, porém, onde a programação de produção precisaria ser quase em tempo real. Ao longo do tempo, o sistema deve ser capaz de monitorar continuamente a habilidade da empresa em cumprir as promessas feitas em função dos eventos inesperados que ocorrem. Assim, se houver um atraso previsto, é possível tomar uma ação pró-ativa para correção do problema. Esse tipo de ação pode envolver:

- resseqüenciamento da produção;
- obtenção de recursos adicionais;
- renegociação do compromisso com o cliente antes de acontecer o atraso.

Aumentos de capacidade podem ser alcançados antecipando-se ordens de produção para aproveitar recursos subutilizados, alterando rotas para evitar gargalos, estendendo turnos de trabalho, sub-contratando a produção ou fazendo a divisão de lotes. Por outro lado, reduções de capacidade são causadas por quebras, retrabalhos, tempos de *set-up* e pelos inevitáveis gargalos. (PREACTOR, 2003).

Os sistemas APS provêm soluções para grande parte dos problemas de programação da produção. Podem se integrar com sistemas de gestão de manufatura do tipo *Enterprise Resources Planning* (ERP) ou com soluções avançadas de gestão do *supply chain*. Como habilidade principal, esses *softwares* buscam maximizar o resultado da empresa através de um adequado seqüenciamento de produção. Levam em consideração todas as restrições inerentes à manufatura: disponibilidade de equipamentos, de recursos humanos, ferramentais, movimentação, seqüências de entrada dos equipamentos etc. Conforme assinalam Gaither e Frazier (2001), os sistemas APS propõem-se a executar minimamente as seguintes funções dos programas de produção:

- detalhamento dos programas diários dos centros de trabalho, com indicação dos tempos de início e conclusão de cada pedido;
- elaboração de programas semanais e diários com detalhamento apropriado para coordenar os centros de trabalho;
- geração de programas com as modificações decorrentes da incorporação de informações sobre novos pedidos e evolução dos centros de trabalho.

Reagir rapidamente aos desvios do programa e às novas demandas do mercado é uma habilidade muito importante, mais do que gerar um programa ótimo,

bem como determinar o impacto que um pedido prioritário terá sobre os pedidos já colocados e com datas de promessa já definidas. Dessa forma, enfatize-se, mais importante que achar uma solução ótima, na maioria das vezes, é obter uma boa solução viável e rápida.

Para equacionar essa questão, os APS utilizam técnicas e métodos para identificar a programação de produção mais adequada para o momento.

O método algorítmico é um procedimento consistente e bem definido para resolver um problema. Trata-se, como afirmam Shimizu (1982) e Demarco (1989) de uma abordagem que sempre garante uma boa solução. Os algoritmos determinísticos otimizantes, embora apresentem soluções ótimas, requerem um tempo computacional elevado, minimizando a rapidez, uma das principais vantagens dos APS. Além disso, como salienta Tubino (1997), soluções otimizantes, como por exemplo a clássica programação linear, embora viáveis matematicamente, na prática são de difícil aplicação devido à dificuldade de conciliar a variabilidade dos dados do sistema de produção com a dinâmica de atualização dos parâmetros do algoritmo.

Os métodos heurísticos são usados quando várias abordagens de solução de um problema são conhecidas, mas nem sempre há um algoritmo para resolver o problema de modo consistente. É uma opção atrativa para situações que não comportam uma adequada análise matemática, e pode ser muito útil em situações complexas e repetitivas. As vantagens dessa abordagem são: consistência, rapidez e a habilidade de lidar com muitos dados e sistemas amplos, conforme esclarece Starr (1971).

A lógica difusa (*fuzzy*) é um método heurístico que utiliza a teoria de conjuntos *fuzzy* e integra a área de inteligência artificial, disciplina associada à construção e à programação de computadores para simularem os processos de raciocínio humanos (Heizer e Render, 2001). A aplicação da teoria de conjuntos *fuzzy* tem encontrado um campo fértil de aplicações para uma ampla gama de situações, inclusive para o planejamento e controle da produção, como salienta Nobre (2000), notadamente onde o senso emocional e racional dos seres humanos e o conhecimento de especialistas exercem um papel preponderante sobre as estratégias e decisões a serem tomadas. Bonventi Jr. (1998), comenta que seu emprego é apropriado em determinadas condições, como existência de variáveis

contínuas, sistema muito complexo para ser calculado em tempo real, e existência de especialistas que possam indicar regras de comportamento do sistema e os conjuntos difusos que representem a característica de cada variável.

Apesar de todos estes recursos, o equacionamento de boa parte dessas questões pelas fundições deixa a desejar. Infelizmente, soluções que resolvam o problema da fundição não estão disponíveis. Fernandes e Leite (2002), não localizaram, até o ano de 2000, referências bibliográficas focando sistemas de programação da produção para fundições, visando melhor cumprimento de prazos e redução do consumo de energia.

Cardoso (2003) observa que ainda não existe um sistema de PCP para fundições que equacione a problemática das restrições múltiplas. Este comentário é altamente revelador da deficiência, existente no setor, desse tipo de ferramenta.

As fundições desenvolveram soluções para muitos problemas de programação, entretanto, não foi detectada a existência de uma metodologia para conjugar a programação do forno com a moldagem, de forma a obter um balanceamento sincronizado entre estas duas etapas de produção, e, conseqüentemente um equilíbrio constante entre a geração e o consumo de metal líquido. Esta questão é particularmente crítica quando a fusão é o gargalo principal (que ocorre na maioria das vezes – das quatro fundições pesquisadas, em três delas a fusão é o gargalo) e quando há períodos de restrição de energia (horário de ponta) em fundições que utilizam equipamentos elétricos. A falta de sincronia entre o forno e a moldagem provoca a interrupção no transporte de metal líquido, por falta de metal ou espera pela moldagem, ocasionando perdas de produção, desperdício de energia e predispõe ao incremento de defeitos de fundição.

O problema da investigação pode ser sintetizado na seguinte pergunta: qual é a estrutura e o funcionamento de um modelo heurístico que determine regras de seqüenciamento para a programação da produção conjunta da fusão e da moldagem, em fundições de mercado, com processos de características híbridas, restrições múltiplas e tempos de *set-up* dependentes da seqüência, e que seja suficientemente flexível para permitir reprogramações de acordo com a dinâmica requerida pelo ambiente?

1.3 Hipótese do Trabalho

Este trabalho procura desenvolver um modelo, integrado ao sistema de PCP das fundições, para o seqüenciamento de ordens e programação da fusão e da moldagem de forma conjunta.

O método heurístico, baseado no conhecimento dos especialistas que fazem a programação da produção em fundições de mercado, parece ser o mais adequado, dado à complexidade deste ambiente industrial.

A lógica difusa (*fuzzy*) é um método heurístico que simula os processos de raciocínio, e é indicado para aplicações industriais, inclusive no planejamento e controle da produção.

Diante disso, é proposta a seguinte hipótese básica a ser analisada:

Um método heurístico, modelado com utilização da teoria de conjuntos *fuzzy*, e integrado ao sistema PCP, permite realizar o seqüenciamento para programação conjunta da fusão e da moldagem em uma fundição, com equilíbrio, flexibilidade e rapidez.

1.4 Objetivos do Trabalho

Este trabalho propõe-se a desenvolver um modelo heurístico para o PCP de fundições de metais ferrosos, mecanizadas, que envolve o seqüenciamento de ordens de produção e geração de uma programação conjunta e equilibrada do forno e da moldagem, e que reconheça os períodos de maior e menor disponibilidade de energia e seja suficientemente flexível para permitir reprogramações rapidamente. Este modelo, desenvolvido a partir da experiência dos profissionais que atuam neste ambiente industrial, poderá, ou não, integrar o sistema de gestão da empresa e/ou um sistema APS.

As necessidades de produção da fundição, identificadas pelo sistema de gestão (ERP – *Enterprise Resources Planning*, APS ou equivalente), por meio das ordens de produção, serão tratadas, mediante simulação, pelas regras heurísticas do modelo. Uma vez encontrada a melhor solução para o seqüenciamento da

produção da moldagem, em relação às restrições da fusão, esta será convertida num programa, que poderá ser diretamente liberado para a execução ou transferido ao sistema de gestão. A figura I.1 apresenta esses relacionamentos.

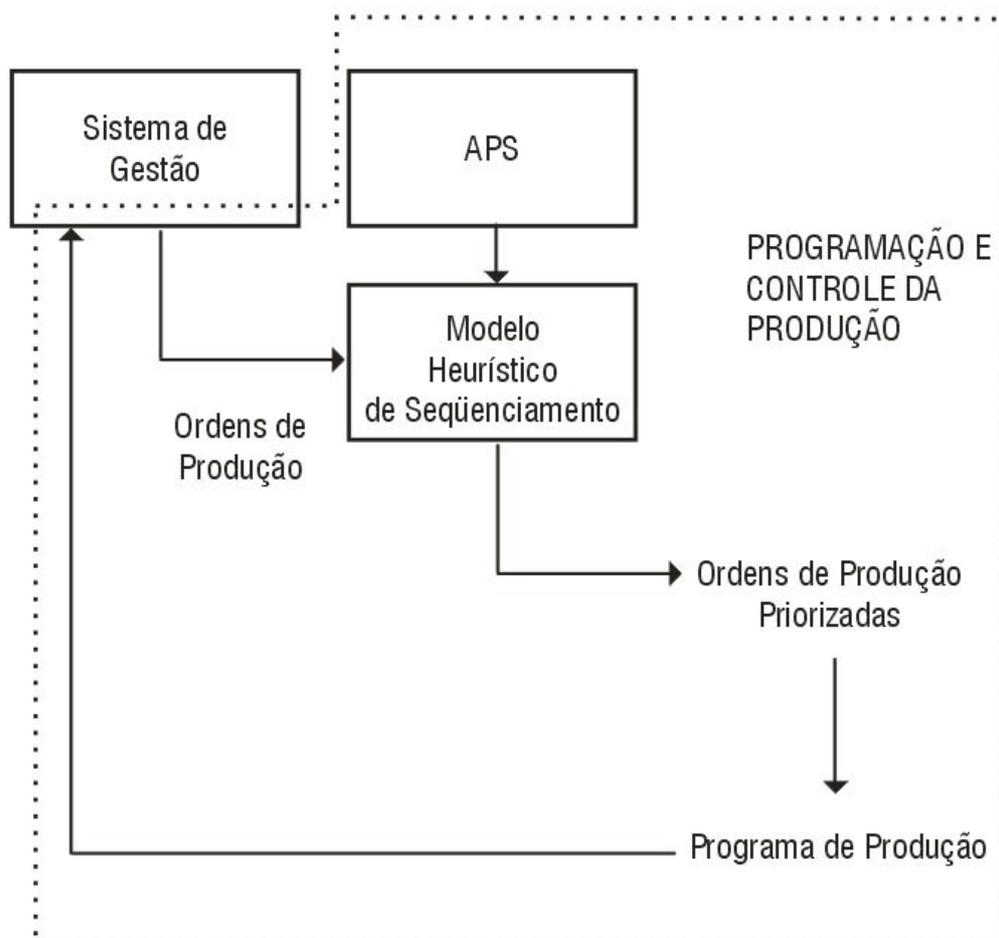


Figura I.1 - Modelo heurístico de integração na interface com o sistema de gestão e o sistema baseado no conceito de capacidade finita (APS)

O objetivo geral deste trabalho, portanto, é desenvolver um modelo heurístico para a programação simultânea e integrada da fusão e da moldagem, no curtíssimo prazo, em fundições de metais ferrosos, mecanizadas, que produzem para o mercado, inserido dentro da estrutura do PCP, que pode ser desdobrado em vários objetivos específicos:

a) Identificar regras heurísticas de planejamento e programação que considerem o conjunto de recursos de um sistema produtivo e que permitam determinar as prioridades de um programa de fabricação, e, conseqüentemente, orientar o seqüenciamento de ordens de produção na moldagem, com as seguintes opções de critérios:

- seqüência com o melhor atendimento dos pedidos nas datas requeridas;
- seqüência com o melhor aproveitamento da capacidade produtiva.

b) Descrever, de forma ordenada, a seqüência de passos, decisões e tratamento dado às variáveis, em todas as etapas de construção do modelo heurístico proposto.

c) Aplicar e avaliar o desempenho do modelo, mediante simulação, em termos de qualidade da solução, levando em conta os seguintes indicadores:

- desvio-padrão da demanda de ferro em torno da média ao longo de um determinado horizonte de programação;
- aproveitamento da capacidade produtiva;
- quantidade de *set-ups*;
- rapidez nas reprogramações.

1.5 Justificativa e Relevância do Tema

O grau de competição nos negócios cada vez mais intenso, bem como as ameaças à sobrevivência provocadas pela concorrência e pelas exigências crescentes do mercado, têm tornado imperiosos os esforços desencadeados pelas organizações em geral, no sentido de buscar e obter desempenhos cada vez melhores. Nas empresas industriais, o PCP tem uma participação fundamental para a competitividade, com reflexos diretos e imediatos no custo e no atendimento ao cliente.

Moccellin e Belhot (1998) observam que as decisões relacionadas à programação da produção envolvem fatores externos, associados às demandas dos clientes; e internos, vinculados a aspectos como o uso eficiente da capacidade e a

coordenação de atividades produtivas simultâneas.

Entretanto, embora existam alternativas de solução para o planejamento e a programação da produção através da utilização de sistemas especialistas, essas soluções só funcionam para um pequeno número de variáveis, e em ambientes pouco dinâmicos, cuja aplicação prática, conseqüentemente, é inviável, conforme atestam Noronha, Ribeiro e Ribeiro (1996). Problemas de pequeno porte podem ser resolvidos de maneira ótima por qualquer método. Já a resolução de um problema de porte médio tem sua resolução impossibilitada em um tempo computacional aceitável. Além disso, como observado por Lawrence e Sewell (1997), as seqüências ótimas, originárias de uma análise determinística, são deterioradas ao longo do tempo devido às incertezas do processo. Zhou, Feng e Han (2001), além de afirmarem que uma solução ótima é muito difícil de se alcançar, devido à alta complexidade computacional, na prática, nem sempre são requeridas soluções com absoluta exatidão.

Moraes (1998) dá uma idéia da dimensão do problema. Um sistema com 6 centros produtivos em série onde se deseja seqüenciar um conjunto de 15 ordens de produção, possui 5×10^{72} seqüências alternativas para o problema. Mesmo que haja restrições tecnológicas - como, por exemplo, relação de precedência entre as ordens, ou ordens que não ocupam todas as máquinas - a quantidade de soluções possíveis torna-se muito grande e, embora a bibliografia de planejamento, programação e controle da produção recomende o uso de modelos de seqüenciação para a programação de sistemas intermitentes, modelos otimizantes de seqüenciação são disponíveis apenas para casos particulares. Modelos para problemas complexos envolvendo muitas máquinas e roteiros produtivos genéricos não são disponíveis.

Apesar de o principal foco da pesquisa em gestão da produção, em nível mundial, no período 1990-1995, ter sido justamente em estoques e *scheduling*, usando a metodologia da Pesquisa Operacional, conforme constatações de Fernandes (1999), Moccellini e Belhot (1998) salientam que a área da programação da produção/seqüenciamento continua ainda muito rica para desenvolvimentos, notadamente através da utilização de sistemas especialistas.

Embora se afirme que os métodos heurísticos têm apresentado aplicações práticas com resultados satisfatórios, Chen *et al.* (2003) salientam que a presença

de algumas características típicas em muitas operações industriais que atendem o mercado sob encomenda, como recursos múltiplos e *set-ups* dependentes, aumenta sobremaneira a complexidade da programação da produção, e que as soluções relatadas na literatura deixam a desejar, ou por apresentarem metodologias difíceis de implantar, ou por não apresentarem resultados satisfatórios.

No que diz respeito ao setor de fundição, a partir da década de 80 começaram a surgir *softwares* voltados especificamente para este segmento, dedicados à atividades técnicas e comerciais, incluindo o planejamento e o controle da produção. Porém, segundo Engels (2003), somente em meados da década de 90 o conceito *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) passou a ser utilizado de forma mais ampla nas fundições. Nessa época, surgiram também os sistemas especialistas com simulação matemática, adotados principalmente para o controle de processos.

Para o futuro, ainda de acordo com Engels (2003), a habilidade em analisar e resolver novos problemas será mais importante que o conhecimento especializado na tecnologia de fundição propriamente dita. As grandes preocupações para sobreviver no mercado global passam pela melhoria da qualidade do produto, pelo controle de processo, pela produtividade, pelo meio ambiente e, principalmente, pelo desenvolvimento de novas soluções para os clientes.

Não se tem notícia da existência de sistemas de gestão da produção para utilização em fundições. Na prática, prevalece a adoção de soluções *ad hoc* baseadas no empirismo, geralmente mal sistematizadas e apoiadas essencialmente no conhecimento dos profissionais do setor de PCP, muitas vezes intuitivo. Este aspecto, também identificado por Moccellini e Belhot (1998), é particularmente crítico para as organizações, uma vez que o conhecimento, sem sistematização, não é compartilhado e nem passível de ser usado para a aprendizagem organizacional. A transferência de tecnologia para uma ferramenta gerencial propiciará a empresa aprender com seus erros e acertos e, assim, aprimorar seu desempenho.

Portanto, apesar da intensa atividade acadêmica já desenvolvida sobre este assunto, ainda não se obtiveram soluções satisfatórias para o problema, nem de caráter genérico e nem especificamente para as fundições. Existe, conseqüentemente, uma lacuna que o presente trabalho tem a pretensão de

preencher, elucidando melhor aspectos que a literatura existente não esclarece devidamente, aspectos esses ligados à resolução de problemas de programação da produção, não apenas no setor de fundição, mas na indústria em geral. Através de pesquisa, será possível trazer à tona o processo de decisão adotado pelos fundidores na gestão da produção, e transferir essa base de conhecimento especializado para um modelo heurístico.

A resposta encontrada para o desenvolvimento de um modelo heurístico para a programação da produção num ambiente industrial voltado para o mercado, atendendo pedidos sob encomenda, liberará novos conhecimentos, que poderão contribuir para o desenvolvimento científico na área da gestão da produção, não só para aplicação no segmento das fundições, mas também em outras áreas com perfis semelhantes.

A originalidade deste trabalho, ao propor a criação de um modelo heurístico e a geração de uma ferramenta para apropriar o conhecimento na gestão da produção em fundições, que seja objetivamente viável, reside na combinação de três fatores que se inter-relacionam e se complementam, a saber: a) o resgate do processo decisório no âmbito do PCP das fundições; b) a criação e modelagem de um modelo heurístico inédito, com utilização da teoria de conjuntos *fuzzy*, para a programação conjunta da fusão e da moldagem; c) a transferência dessa base de conhecimento para um sistema que possibilite o seqüenciamento das ordens de produção para obter os resultados desejados.

O segmento das fundições é bastante expressivo, tanto em termos tecnológicos como econômicos. Um levantamento realizado pela Associação Brasileira de Fundição (ABIFA) em 1998, detectou a existência no Brasil de 1.015 indústrias de fundição. Destas, apenas 121 estavam associadas à ABIFA.

Em 2003, no período janeiro a novembro, segundo dados da ABIFA, o segmento produziu 2.083.581 toneladas de fundidos (86% corresponde a ferro fundido), tendo exportado 16% deste volume, o que corresponde a US\$ 515.086,1 mil (FOB). Deus (2001) observou que, no período 1990 a 2000, as exportações cresceram a uma taxa de 8% ao ano. Em outubro de 2003, havia 46.700 pessoas empregadas nas fundições existentes no País.

Segundo a revista *Modern Casting* de dezembro de 1998, mencionada por FERNANDES e LEITE (*op. cit.*), o Brasil posicionou-se, em 1997, como o 9º

produtor mundial de fundidos.

Sabendo-se que a produtividade e o atendimento aos clientes serão, entre outros fatores, determinantes para a sobrevivência das organizações, é fácil perceber a importância para a sociedade da solução que este trabalho busca desenvolver, tanto para pesquisadores, desenvolvedores de sistemas, profissionais de PCP, empreendedores, como para a indústria de fundição em geral.

Além disso, o aprendizado tornou-se uma atividade fundamental para as organizações que pretendem prosperar num ambiente de negócios altamente competitivo. O aprendizado pode ser entendido como a modificação de uma tendência comportamental através da experiência, semelhantemente ao que acontece com a adaptação dos organismos vivos ao ambiente em que vivem (ERDMANN, 1998). Este processo poderá ser significativamente incrementado, na gestão da produção, com a transferência do conhecimento especializado para um modelo heurístico.

Os fundidores têm uma clara percepção da carência de adequados sistemas de PCP, demonstrando elevado interesse em sistemas informatizados de gestão, conforme evidenciado pela pesquisa de Fernandes e Leite (*op. cit.*), com 30 fundições de mercado do interior do Estado de São Paulo. Isso denota que esta questão é um problema potencial a ser explorado.

O autor deste trabalho desenvolveu, durante trinta anos, atividades profissionais atuando no setor produtivo de fundições, como técnico, executivo e consultor, tendo constantemente se deparado com problemas e desafios ligados à programação da produção. Participou de projetos pioneiros no Brasil, tratando da implantação de sistemas MRP e *just-in-time/kanban*. A complexidade do assunto e a dificuldade em obter soluções adequadas à dinâmica empresarial sempre o fascinaram, e o tornaram um eterno estudioso do tema. Este foi o incentivo maior que motivou a realização deste trabalho, que vislumbra a possibilidade de gerar, efetivamente, uma ferramenta gerencial que atenda as necessidades da gestão da produção nas fundições.

1.6 Limitações do Trabalho

Independente da natureza e das características do trabalho, do referencial teórico e dos procedimentos metodológicos utilizados, o estudo apresenta limitações, que devem ser esclarecidas para favorecer as discussões acerca do que se quer pesquisar. Até o momento se detectam as seguintes limitações:

- quanto ao escopo – o trabalho se concentra na construção de um modelo para programação conjunta do fusão e da moldagem, inserido no sistema de PCP das fundições, o qual trata essencialmente do seqüenciamento de ordens de produção nas linhas de moldagem levando em consideração as restrições do forno. O suprimento de materiais está fora da abrangência do modelo.
- quanto ao problema e generalização dos resultados - o modelo proposto se limita ao desenvolvimento de uma heurística alicerçada no processo de decisão para a gestão da produção em fundições e na teoria de conjuntos *fuzzy*, compreendendo as atividades do PCP a curto prazo, definidas como programação da produção e seqüenciamento, a partir da realidade de quatro fundições do sul do país. Dessa forma, os resultados deste estudo podem servir de base para a definição de modelos desenvolvidos a partir de investigações do tipo multicase. O modelo pode apresentar restrições em decorrência do modo de investigação, e está circunscrito ao tipo de indústria assemelhado ao segmento analisado.
- quanto às técnicas de coleta e de tratamento de dados – nem todas organizações que compõem a população da pesquisa se dispuseram a fornecer informações suficientes, de forma que o modelo pode sofrer limitações relativas à uma generalização mais ampla de sua aplicação. No entanto, este aspecto pode ser minimizado através de outras técnicas de coleta de dados, como a observação e a revisão de literatura.
- quanto ao pesquisador, se este não mantiver a coerência, a consistência e a objetivação, de um lado, e a intersubjetividade, de outro, os resultados podem não trazer a contribuição científica esperada.

1.7 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em seis partes. O primeiro capítulo apresenta uma visão geral do problema relacionado à gestão da produção em fundições, mais especificamente ao PCP, no que diz respeito à programação da produção e ao seqüenciamento de ordens de produção. Também nesse capítulo são descritas as hipóteses, os objetivos do trabalho, a justificativa, a relevância do tema e as limitações do trabalho.

O segundo capítulo faz uma revisão da literatura. Inicialmente apresenta considerações sobre sistemas de produção e, a seguir, são analisados os sistemas de administração da produção, no que diz respeito às diferentes tipologias existentes. A seguir, são analisadas as atividades do PCP, segundo a hierarquia de suas funções, com ênfase nas modalidades de decisões que são tomadas nos diferentes níveis. Na seqüência, são descritas diversas técnicas de programação e as principais filosofias de fabricação e as ferramentas de gestão da produção utilizadas no PCP, como o *Materials Requirements Planning* (MRP), o *kanban*, a tecnologia de produção otimizada (OPT), o planejamento fino e controle da produção, os sistemas híbridos e a manufatura integrada por computador. A seguir, é detalhado o problema da programação da produção, as dificuldades existentes na presença de restrições de ordem diversa, e as abordagens e métodos de solução adotados, onde sobressaem os métodos heurísticos e a lógica *fuzzy*. Apresenta também as atividades de PCP desenvolvidas em fundições, dentro do contexto em análise. Ao final deste capítulo, como marco teórico, é elaborada uma síntese representativa e interpretativa que culmina com um esquema básico para o modelo de PCP a ser desenvolvido para fundições de mercado, contendo a descrição dos instrumentos preconizados para a sua operacionalização.

No terceiro capítulo são descritos os procedimentos metodológicos que foram adotados no trabalho, com definições quanto à tipologia e às características da pesquisa, os instrumentos de coleta e tratamento dos dados, as etapas para a construção do modelo proposto e as definições de termos e variáveis. Trata-se de um estudo multicaso em fundições do sul do país.

O quarto capítulo apresenta as informações coletadas nas fundições visitadas, destacando-se o sistema de produção e o sistema de PCP verificados nestas

empresas, uma análise comparativa e uma síntese dos aspectos relevantes encontrados nessas fundições.

A construção do modelo proposto é descrita no quinto capítulo, desde sua fase inicial utilizando os dados de uma das fundições pesquisadas e a sua inserção numa estrutura de um sistema *fuzzy*, com definição da base de regras lingüísticas, das funções de pertinência, do mecanismo de inferência e das interfaces de entrada e de saída. Neste capítulo também são apresentadas as etapas de generalização do modelo, sua implantação em uma planilha eletrônica e os resultados de sua aplicação prática.

As conclusões do trabalho, em relação à proposta inicial quanto aos objetivos e à hipótese, bem como quanto aos resultados obtidos, estão discriminadas no capítulo seis. Recomendações para trabalhos futuros também se encontram neste capítulo.

Ao final apresenta as referências utilizadas neste trabalho seguidas dos apêndices, que contêm o roteiro utilizado nas entrevistas para coleta de dados, a descrição da funcionalidade da planilha eletrônica com o método heurístico proposto e o seqüenciamento detalhado do programa de produção de um dos dias em que foi realizada a aplicação prática do modelo.

2 REVISÃO LITERATURA

2.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se a revisão da literatura que fundamentou teoricamente este trabalho. Inicialmente são abordados conceitos sobre o modelo de transformação, a produção vista como um sistema, a estratégia competitiva da manufatura e a classificação dos sistemas produtivos.

Na seqüência, é apresentada uma visão geral do PCP, caracterizado como um sistema integrado de informações, por intermédio de uma abordagem hierárquica, que abrange desde a visão de longo a curtíssimo prazo, com detalhamento das atividades que são desenvolvidas em cada etapa e das decisões envolvidas. Regras heurísticas simples de seqüenciamento de ordens de produção também são comentadas neste tópico.

A seguir, é feita uma abordagem a respeito das técnicas de programação mais utilizadas, com destaque para aquelas que têm servido de referência para o planejamento e a programação da produção nos últimos anos, para empresas manufatureiras em geral: o MRP/MRP II, o *kanban*, a OPT (tecnologia otimizada da produção), os sistemas avançados de planejamento da produção (sistemas de planejamento de capacidade finita ou planejamento fino da produção) e os sistemas híbridos. A contextualização do PCP no conceito da manufatura integrada por computador (CIM – *Computer Integrated Manufacturing*) também é comentada.

O tópico seguinte apresenta um aprofundamento do assunto programação da produção, dado o foco de interesse deste trabalho. Relata os problemas inerentes a esta atividade e os métodos utilizados para sua solução, como a simulação, a otimização e a heurística, com destaque para os métodos que constituem a inteligência artificial, notadamente a lógica *fuzzy*, apresentando-se ainda uma classificação dos problemas de *scheduling*.

Como a proposta é de desenvolvimento de um sistema de planejamento,

programação e controle para a indústria de fundição, são demonstrados o processo de fundição, as principais características de seus sub-processos, aspectos específicos do PCP em fundições e algumas alternativas para o seu equacionamento.

No final, é apresentado o marco teórico, que contém uma síntese interpretativa dos aspectos relevantes identificados nesta revisão de literatura e que serão incorporados no modelo a ser desenvolvido para o PCP de fundições de mercado, cujo esquema básico também é demonstrado, com os instrumentos preconizados para a sua operacionalização.

2.2 Sistemas de Produção

A necessidade de aplicação de sistemas de produção na organização do trabalho iniciou com a Revolução Industrial. Antes dessa época, a fabricação de produtos era regida pela simples divisão do trabalho, dentro de funções especializadas executadas nas casas dos trabalhadores. A Produção, vista como sistema, é um conjunto de recursos humanos, físicos, tecnológicos e informacionais, capazes de transformar entradas em saídas, tangíveis ou não-tangíveis. Pode-se produzir tanto bens como serviços. (SPRAKEL e SEVERIANO Fo., 1999).

Uma representação esquemática da função de Produção pode ser vista na figura II.1.

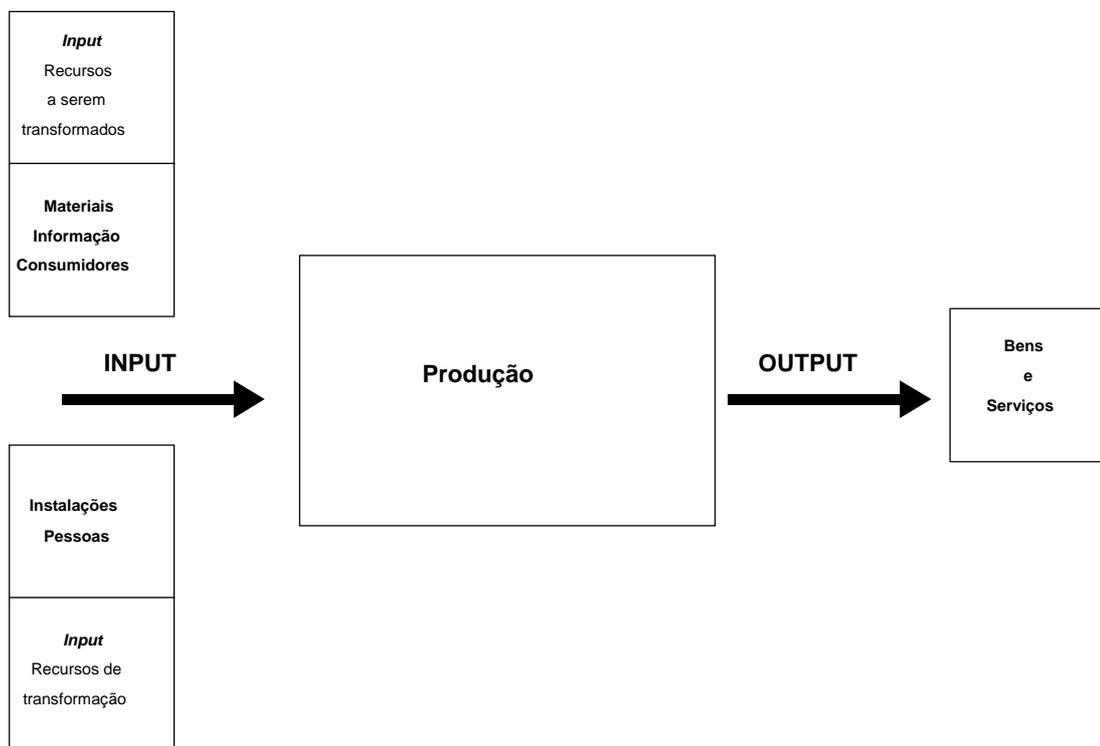


Figura II.1 - A função de Produção

Fonte: Adaptado de Heizer e Render (2001, p. 12)

A criação de bens e serviços requer, portanto, a transformação de recursos em bens e serviços. Quanto mais eficientemente for feita essa transformação, mais produtivo é o sistema. Produtividade, segundo Heizer e Render (2001), é a razão entre as saídas (bens e serviços) e as entradas (recursos, como trabalho e capital. Oishi (1995, p. 24) afirma que “a função da produção destina-se a estabelecer a saída máxima que se pode obter com um conjunto específico de recursos ou insumos e com um determinado estado de tecnologia”.

De acordo com Monks (1987), cabe à administração reunir os insumos (pessoal, materiais, equipamentos e finanças) e, de acordo com um plano para sua utilização, programar e controlar o trabalho para produzir os bens e serviços exigidos. As atividades de transformação compreendem o projeto do produto, o planejamento do processo, o controle da produção (planejamento agregado, planejamento de materiais e capacidade, programação e controle) e a manutenção. As saídas, constituídas de bens e serviços, podem ser medidas em resultados

econômicos e não econômicos, gerando ainda informações sobre custos, qualidade e estoques.

Sacomano e Azzolini Júnior (2001) apontam que, já no final da década de 60, falava-se a respeito da importância da manufatura dentro da estratégia organizacional, no tocante à contribuição para a sobrevivência, lucratividade e crescimento do empreendimento, a partir de um trabalho pioneiro desenvolvido por Skinner, em 1969. Dentro deste contexto, os sistemas de administração da produção desempenham um importante papel para que a manufatura possa atingir os seus objetivos. A grande preocupação na gestão de sistemas de administração da produção é melhorar o desempenho dos recursos produtivos em qualquer unidade econômica, agregando valor ao bem ou serviço produzido, quer seja através da melhoria da qualidade, aumento da produtividade, redução do custo ou diminuição do prazo de entrega, como expõe Machline (1994), para quem a perseguição simultânea desses quatro objetivos assegurará a razão de ser do negócio, o lucro sobre o investimento. Já Slack, Chambers e Johnston (2002) apresentam cinco objetivos que caracterizam as vantagens competitivas do empreendimento: qualidade, rapidez, confiabilidade (cumprimento dos compromissos assumidos com os consumidores), custo e flexibilidade (habilidade em mudar rapidamente a operação). Stevenson (2001, p. 4) salienta que a “a essência da função produção é de adicionar valor durante o processo de transformação”.

A fim de implementar uma estratégia de produção com sucesso, Davis, Aquilano e Chase (2001) complementam que as empresas precisam identificar claramente suas competências centrais. São forças específicas que permitem a uma empresa alcançar suas prioridades competitivas. Também podem ser entendidas como a habilidade ou conjunto de habilidades que a função administração da produção desenvolve para permitir que a organização se diferencie de seus concorrentes.

Para que uma empresa possa funcionar adequadamente, ela precisa planejar e controlar sua produção de forma também adequada, e para facilitar o entendimento da relação da complexidade das atividades de planejamento e controle com os sistemas de produção, estes são classificados segundo algumas características. Existem várias maneiras de classificar os sistemas de produção. Tubino (1997) apresenta três formas

bem conhecidas: pelo grau de padronização dos produtos, pelo tipo de operação que sofrem os produtos e pela natureza do produto.

- Pelo grau de padronização dos produtos – segundo este critério, os sistemas produtivos podem ser classificados em sistemas que produzem produtos padronizados e sistemas que produzem produtos sob medida. *Produtos padronizados* são bens ou serviços que apresentam alto grau de uniformidade, são produzidos em grande escala, e os recursos, bem como os métodos de controle, podem ser padronizados mais facilmente, contribuindo para maior eficiência e redução de custos. Dentro deste grupo estão incluídas a fabricação de bens como: eletrodomésticos, combustíveis, automóveis, roupas, alimentos industrializados etc., e a prestação de serviços como: linhas aéreas, serviços bancários etc. Os *produtos sob medida* são bens ou serviços desenvolvidos para um cliente específico, produzidos sob encomenda e em lotes normalmente unitários. Estes sistemas geralmente têm alta capacidade ociosa, dificuldade em padronizar os métodos de trabalho e os recursos. A automação dos processos é pouco praticável porque, em geral, o volume demandado não justifica os investimentos. Exemplos típicos desses sistemas são a fabricação de máquinas-ferramentas, construção civil, estaleiros etc. e a prestação de serviços como restaurantes, táxis, projetos arquitetônicos etc.

Por tipo de operações – de acordo com seu tipo de operação, os sistemas de produção podem ser classificados em: sistemas de processos contínuos e sistemas de processos discretos. Essa classificação está associada ao grau de padronização dos produtos e ao volume de produção. Os *processos contínuos* envolvem a produção de bens e serviços que não podem ser identificados individualmente, existindo alta uniformidade na produção e na demanda, como energia elétrica, petróleo e derivados, produtos químicos etc. Os processos discretos podem ser subdivididos em processos repetitivos em massa, processos repetitivos em lotes, e processos por projetos. Os *processos repetitivos em massa*, chamados simplesmente de processamento semicontínuo, por Stevenson (*op. cit*), são empregados para a produção em grande escala de produtos altamente padronizados. Utilizam componentes altamente padronizados, com a diferenciação dos produtos ocorrendo, geralmente, apenas na montagem final. A estrutura

produtiva é altamente especializada e pouco flexível. Exemplos típicos desse grupo são a fabricação de bens como automóveis, eletrodomésticos, produtos têxteis, produtos cerâmicos, beneficiamento de aves, suínos, gado etc., e a prestação de serviços, como transporte aéreo, editoração de jornais e revistas etc. Os *processos repetitivos em lote* caracterizam-se por volumes médios de produção de bens ou serviços padronizados em lotes. Cada lote segue uma série de operações que necessita ser programada à medida que as operações anteriores forem realizadas. O sistema produtivo é geralmente flexível. Utiliza-se equipamento pouco padronizado e mão-de-obra polivalente, para atender a diferentes pedidos e flutuações de demanda. A fabricação de produtos em pequena escala, como têxteis, sapatos, alimentos industrializados, ferragens etc., e a prestação de serviços como oficinas de reparos de automóveis, laboratórios de análises químicas, restaurantes etc., são exemplos desse grupo. Stevenson (*op. cit*) inclui o sistema *job-shop*, salientando que são geralmente fabricados produtos especificados pelos clientes. Para Davis, Aquilano e Chase (*op. cit.*), *job-shop* é caracterizado por um processo intermitente, onde uma quantidade específica de um produto é produzida apenas uma vez. Os *processos por projeto* têm como objetivo o atendimento de uma necessidade específica dos clientes. O produto tem uma data específica para ser concluído e, uma vez terminado, o sistema produtivo se volta para novo projeto. Há necessidade de alta flexibilidade dos recursos produtivos, normalmente à custa de certa ociosidade. Exemplos de processos por projeto podem ser encontrados na fabricação de bens como aviões, navios, usinas hidroelétricas etc., e na prestação de serviços como agências de propaganda, escritórios de advocacia, arquitetura etc.

O Quadro II.1 apresenta as principais características dos sistemas de operação por tipo de operação.

Quadro II.1 – Características dos sistemas de produção por tipo de operação

	Contínuo	Repetitivo em Massa	Repetitivo em Lotes	Projeto
Volume de produção	Alto	Alto	Médio	Baixo
Variedade de produtos	Pequena	Média	Grande	Pequena
Flexibilidade	Baixa	Média	Alta	Alta
Qualificação da MOD	Baixa	Média	Alta	Alta
Layout	Por produto	Por produto	Por processo	Por processo
Capacidade ociosa	Baixa	Baixa	Média	Alta
Lead times	Baixo	Baixo	Médio	Alto
Fluxo de informações	Baixo	Médio	Alta	Alto
Produtos	Contínuos	Em lotes	Em lotes	Unitário

Fonte: Tubino (1997, p. 29)

- Pela natureza do produto – Os sistemas de produção podem gerar bens ou serviços. Quando o produto é algo tangível, podendo ser visto e tocado, afirma-se que o sistema de produção é uma manufatura de bens. Quando o produto gerado é intangível, podendo ser apenas sentido, como uma consulta médica, um filme ou transporte de pessoas, afirma-se que o sistema de produção é um prestador de serviços. Tanto a manufatura de bens como a prestação de serviços são similares sob o aspecto de transformar insumos em produtos. Existem, entretanto, grandes diferenças como essas atividades são executadas. Uma diferença básica reside no fato de a manufatura de bens ser orientada para o produto enquanto a prestação de serviços é orientada para a ação.

2.3 Planejamento e Controle da Produção – Uma Visão Geral das Funções do PCP

O Planejamento e Controle da Produção (PCP) é um sistema de informações que gerencia a produção, desde a obtenção e concepção dos dados de

planejamento até a sua utilização no dia-a-dia, mediante a adoção de regras para o seu funcionamento, visando comandar o processo produtivo. (ERDMANN, 1998)

De acordo com Pereira e Erdmann (1998, p.2) “é um sistema de informações que gerencia a produção do ponto de vista das quantidades a serem elaboradas, de cada tipo de bem ou serviço e o tempo necessário para sua execução”. O sistema de produção é acionado mediante as informações geradas no âmbito do PCP, que, a partir dos tipos e quantidades, definem as ações junto aos recursos de produção e orientam o ato de produzir. Após a geração do produto, e de forma sistemática, realiza o controle das operações e proporciona *feed-back* aos agentes de produção e ao próprio PCP, caracterizando um sistema integrado de informações. O conceito do PCP como sistema de informações não é novo. Zaccarelli (1973) já conceituava o PCP como um ponto de convergência de certas informações e a sua transformação para o comando e controle de operações.

Os sistemas de PCP, segundo Pedroso e Correa (1996, p. 61 e 62), devem apoiar as decisões de *o que, quanto, quando e onde* produzir e *o que, quanto e quando* comprar. Estas decisões definem quatro determinantes do desempenho destes sistemas:

- os níveis, em volume e *mix*, de estoques de matérias-primas, produtos em processo e produtos acabados;
- os níveis de utilização e de variação da capacidade produtiva (e, conseqüentemente, os custos financeiros e organizacionais decorrentes de ociosidade, hora extra, demissão, contratação, sub-contratação e outros);
- o nível de atendimento à demanda dos clientes, considerando a disponibilidade dos produtos em termos de quantidades e prazos de entrega;
- a competência quanto à reprogramação da produção, abordando a forma como a empresa reage às mudanças não previstas nos seus recursos de produção e na demanda dos clientes.

Corrêa, Giansesi e Caon (2001) destacam a necessidade do uso do conceito de hierarquia dos processos de planejamento, em virtude das inércias diferentes das decisões que são tomadas em relação aos sistemas de produção. Decisões estratégicas são as que têm maior inércia e são mais difíceis de reverter e, uma vez tomadas, passam a representar restrições às

alternativas de decisão de menor inércia. Portanto, decisões maiores, de maior inércia, vão hierarquicamente restringindo as decisões menores, de menor inércia, e devem ser respeitadas para que haja coerência entre os níveis de planejamento. O conceito de hierarquia de decisões de planejamento está ilustrada na figura II.2.

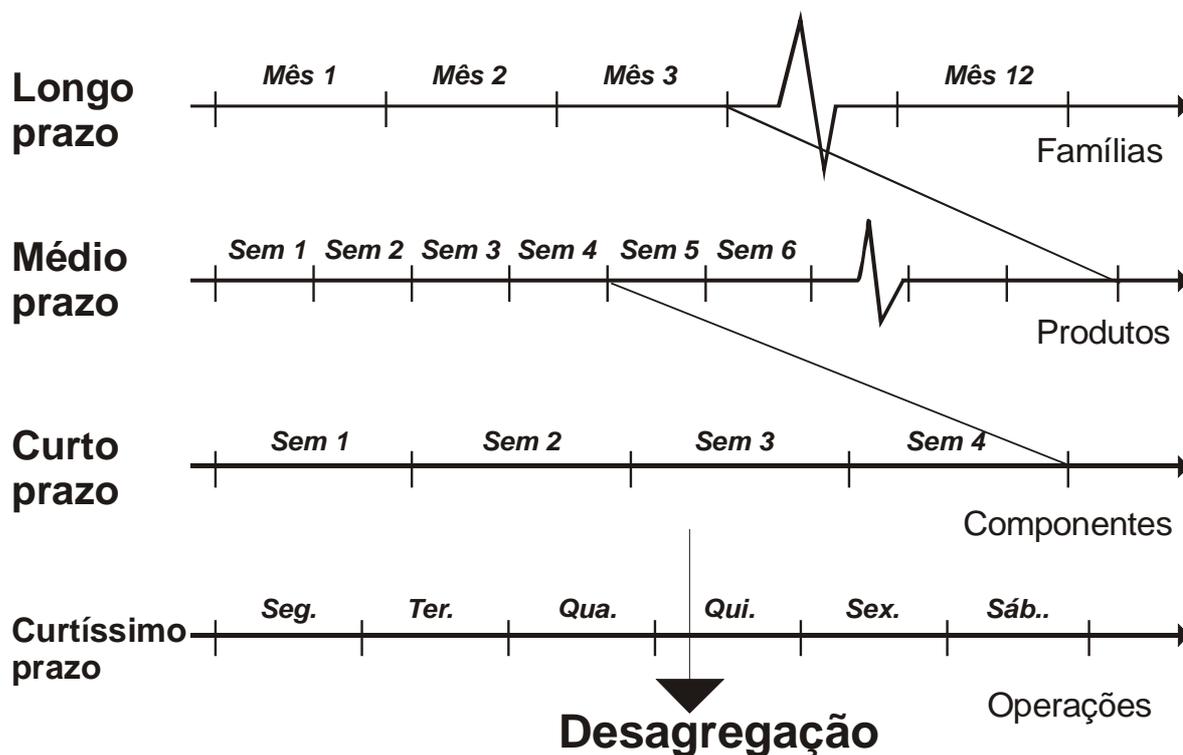


Figura II.2 - Conceito de hierarquia de decisões de planejamento
Fonte: Correa, Giansesi e Caon (2001, p. 46)

Hax e Candea (1984), *apud* Silva Filho (2000), salientam que o processo de tomada de decisão, no contexto do planejamento de produção, somente pode ser descrito por meio de uma estrutura hierárquica que, sucintamente, consiste de três níveis distintos, porém altamente interativos: estratégico, tático e operacional, conforme exposto no Quadro II.2.

Quadro II.2 – Cadeia hierárquica dos três níveis de decisão

	Propósito do Planejamento	Horizonte de Planejamento	Grau de Agregação	Grau de Incerteza
ESTRATÉGICO	Planos de Negócios	Longo Prazo (2 a 5 anos)	Altamente Agregado	Muito alto
TÁTICO	Planos de Produção (agregados/detalhado)	Médio Prazo (1 Mês a 2 anos)	Moderadamente Agregado (ou detalhado)	De alto a médio
OPERACIONAL	Programação, Seqüenciamento Despacho	Curto Prazo (Diariamente – semanalmente)	Altamente Desagregado	Muito baixo

Fonte: Hax e Candea, *apud* Silva Filho (2000, p. 250)

Fandel, François e Gubitz (1994) apresentam um modelo iterativo e interativo onde o PCP – Planejamento e Controle da Produção é constituído por um grupo de funções hierarquicamente estruturadas, divididas em duas áreas: a programação e o controle. A programação compreende vários passos (funções, atividades), que vão desde o planejamento das necessidades primárias dos itens finais (também chamado de programa-mestre de produção) até o programa detalhado de produção, conforme se observa na Figura II.3. O planejamento agregado, o planejamento do produto e do processo, e a previsão de demanda, segundo esta concepção, são atividades que antecedem a programação, que estaria voltada para as atividades diárias, isto é, focada no curto prazo. A programação, segundo Erdmann (1998, p.17) “utiliza-se do planejamento como orientação para suas ações e como fonte de dados”.

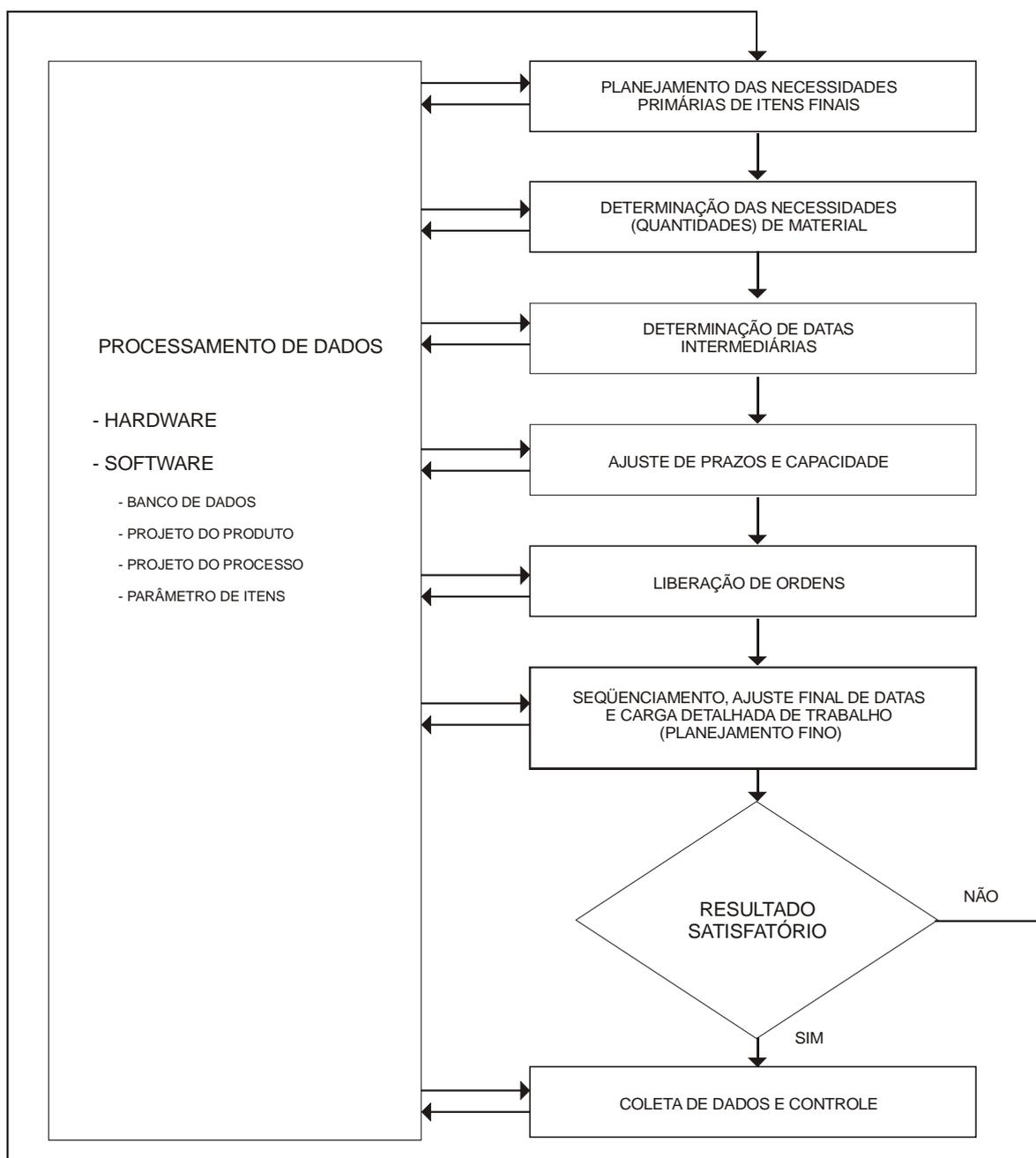


Figura II.3 - Estrutura de um sistema de planejamento e controle da produção
 Fonte: Adaptado de Fandel, François e Gubitz (1994, p. 2)

Erdmann (2000, p. 106) sintetiza da seguinte maneira as etapas descritas na figura II.3:

- a) definir as quantidades a serem produzidas;
- b) calcular as quantidades e as datas em que os materiais serão necessários;
- c) determinar as datas em que cada etapa deverá acontecer e as respectivas capacidades demandadas, ajustando carga e capacidade entre si;

- d) emitir/liberar/seqüenciar/destinar as ordens;
- e) controlar a produção.

A ordenação das atividades do PCP, que será apresentada nos tópicos a seguir, segue a orientação básica da abordagem hierárquica apresentada pelos autores acima descritos.

2.3.1 Planejamento agregado

Uma estratégia produtiva, segundo Tubino (op.cit., p. 38), “consiste na definição de um conjunto de políticas, no âmbito da função produção, que dá sustento à posição competitiva da unidade de negócios da empresa”, cujo ponto de partida consiste no estabelecimento de quais critérios são relevantes para a empresa e que prioridades relativas devem ser dados a eles, baseados nos cinco objetivos que Slack, Chambers e Johnston (2002) caracterizam como vantagens competitivas do empreendimento.

A partir deste ponto, o próximo passo consiste em desenvolver um plano de produção vinculado ao planejamento estratégico. Esta etapa é denominada de planejamento agregado por alguns autores como Heizer e Render (2001); Gaither e Frazier (2001) e Moreira (1993). O planejamento agregado tem como meta direcionar os recursos produtivos para as estratégias escolhidas. São utilizadas informações agregadas de vendas e produção, normalmente com o agrupamento de produtos em famílias afins, com os resultados sendo medido em valores financeiros. O horizonte de planejamento pode abranger um, ou mais anos à frente.

Há uma série de informações que são necessárias para a elaboração de um plano de produção. Devem ser conhecidos os recursos, bem como as possibilidades de alterações potenciais na capacidade de produção, o fluxo da demanda esperada e os dados de custos referentes as várias alternativas que podem ser analisadas. O Quadro II.3 apresenta as principais informações de entrada de um plano de produção.

Quadro II.3 – Informações necessárias a um plano de produção

Informações	Descrição
Recursos	Equipamentos, instalações, força de trabalho, taxa de produção
Previsão de demanda	Demanda prevista para as famílias de itens
Políticas alternativas	Subcontratações, turnos extras, Postergação da produção, estoques etc.
Dados de custos	Produção normal, armazenagem. Subcontratações, turnos extras etc.

Fonte: Tubino (1997, p. 50)

Heizer e Render (2001) salientam que, normalmente, o objetivo do planejamento agregado é minimizar o custo durante o período de planejamento. Todavia há outros aspectos estratégicos também envolvidos. Para Moreira (1993), planejamento agregado é o processo de balanceamento da produção com a demanda e, neste aspecto, segundo Tubino (1997, p. 51), há três grupos de alternativas que poderão ser seguidas:

- manter uma taxa de produção constante;
- manter uma taxa de produção casada com a demanda;
- variar a taxa de produção em patamares.

A análise da capacidade no planejamento agregado tem caráter exploratório, com objetivo de permitir a tomada de decisão que envolva prazos maiores, como mudanças nas instalações físicas, compra de equipamentos, inclusão de novos turnos de trabalho, admissão de mão-de-obra, contratos de fornecimento, terceirizações etc.

2.3.2 Planejamento da capacidade

A análise de capacidade é feita em todos os níveis do PCP, de forma mais agregada a longo prazo e mais detalhada a curto prazo. No planejamento a longo prazo, como mencionado no tópico anterior, o planejamento de capacidade envolve exigências de recursos de capacidade. No planejamento-mestre da produção, que será abordado mais adiante, o propósito do planejamento de capacidade é verificar a viabilidade do programa-mestre de produção, fazer advertências sobre gargalos e

garantir a utilização dos centros de trabalho. Neste nível, o planejamento de capacidade é também denominado planejamento de recursos críticos ou planejamento grosseiro de capacidade. Corrêa, Giansesi e Caon (2001) observam que um procedimento muito útil para este planejamento é a elaboração de uma matriz de recursos críticos e a determinação do *perfil de recursos*, que mostra quanto de cada recurso crítico é necessário para completar a produção de uma unidade de produto final. No nível da programação detalhada da produção, que também será detalhado mais adiante, o planejamento de capacidade enfoca as partes componentes, referindo-se a pedidos individuais em centros de trabalhos individuais, e calcula as exigências de carga e de mão-de-obra para cada período de tempo em cada centro de trabalho.

Arnold (1999) adverte que, embora os níveis hierárquicos mais altos dos planos de produção sejam insumos para os níveis inferiores, os vários planos de capacidade relacionam-se apenas a seu próprio nível no planejamento da produção. O planejamento de recursos a longo prazo, por exemplo, relaciona-se ao planejamento a longo prazo da produção, mas não é um insumo para o planejamento de capacidade realizado ao nível do planejamento-mestre de produção.

De acordo com Burbidge (1983, p. 218) “capacidade pode ser definida como o tempo disponível para trabalho nos centros produtivos, expresso em horas-máquina ou em horas-homem”. Ela pode ser mensurada de várias maneiras, porém, como assevera Erdmann (2000, p. 67), “de uma maneira geral, está ligada à variável tempo, e deve levar a expressão da quantidade de geração de trabalho (produto) na unidade de tempo”.

Portanto, para o planejamento da capacidade, há necessidade de algumas informações, relativas ao centro de trabalho e ao número de dias e horas disponíveis. Um arquivo do centro de trabalho contém a informação sobre a capacidade, assim como sobre os tempos de transporte, espera e fila associados ao centro.

O tempo de transporte é o tempo geralmente exigido para se mover o material de uma estação de trabalho para outra. O tempo de espera é o tempo que uma peça permanece no centro de trabalho depois de ter sido finalizada e antes de ser transportada. O tempo de fila é o tempo que uma peça espera num centro de

trabalho antes de ser manuseada. O *lead time* é a soma dos tempos de fila, preparação, execução, espera e transporte.

Outra informação necessária é o número de dias de trabalho disponíveis. O calendário gregoriano (aquele usado todos os dias) tem algumas deficiências sérias para o controle e o planejamento da produção, e devido a esses problemas, é desejável que se desenvolva um calendário de planejamento.

Há duas maneiras de medir a capacidade disponível, assinala Arnold (*op. cit.*): a medição e o cálculo. A capacidade demonstrada (medida) é determinada com base em dados históricos, e a capacidade calculada ou estimada é baseada no tempo disponível, na utilização e na eficiência. A eficiência, por sua vez, está relacionada ao tempo-padrão. O conteúdo de trabalho de um produto é expresso em termos do tempo exigido para produzi-lo por meio de um método de fabricação. Com o auxílio de técnicas de estudo do tempo, pode-se determinar o tempo-padrão para um trabalho, ou seja, o tempo que levaria para um operador qualificado, trabalhando num ritmo normal, fazer o trabalho. O tempo-padrão fornece uma régua para se medir o conteúdo de trabalho e uma unidade para determinar-se a capacidade. Também é usado no carregamento da carga e na programação.

O processo de planejamento da capacidade, ainda segundo Arnold (*op. cit.*), ocorre da seguinte maneira:

- determina-se a capacidade disponível em cada centro de trabalho para cada período de tempo;
 - determina-se a carga em cada centro de trabalho para cada período de tempo;
- a) traduz-se o plano de produção nas horas de trabalho exigidas em cada centro de trabalho para cada período de tempo;
 - b) somam-se as capacidades exigidas para cada item em cada centro de trabalho, para determinar a carga em cada centro de trabalho para cada período de tempo;
- Resolvem-se as diferenças entre a capacidade disponível a e capacidade exigida. Se possível, a capacidade disponível deve ser ajustada para corresponder à carga. Caso contrário, os planos de produção devem ser alterados para que correspondam à capacidade disponível.

2.3.3 Previsão de demanda

Segundo Tubino (1997, p. 63), a previsão de demanda é uma das principais variáveis dentro de um sistema de produção, e em especial para o sistema de PCP. As organizações direcionam suas atividades para o rumo em que acreditam que seu negócio andar. Este rumo normalmente é definido com base em previsões, sendo a previsão de demanda a longo prazo o principal insumo para desenvolver o planejamento da produção a longo prazo. A previsão de demanda a médio e curto prazos é utilizada para a elaboração do programa-mestre da produção. Envolve a definição de planos de produção e armazenagem, planos de compra e reposição de estoques, planos de cargas de mão-de-obra e seqüenciamento da produção.

As técnicas de previsão podem ser divididas em técnicas qualitativas e técnicas quantitativas. As qualitativas estão baseadas na opinião e julgamento das pessoas, normalmente profissionais da empresa com grandes conhecimento dos produtos e dos mercados. As quantitativas empregam modelos matemáticos para projetar, a partir de dados históricos, a demanda futura. Como o foco deste projeto de tese está concentrado nas atividades a médio e curto prazos, em fundições de mercado, que trabalham essencialmente para atender pedidos colocados pela clientela, e não para atender previsões, este capítulo não apresentará o detalhamento das técnicas de previsão de demanda.

2.3.4 Planejamento do produto e do processo

O desenvolvimento de produtos e serviços desempenha papel fundamental na consecução dos objetivos das organizações, assinala Stevenson (2001), justificando que o projeto de produtos e serviços afeta diretamente a satisfação do cliente, a qualidade e os custos de produção. Heizer e Render (2001) afirmam que bons produtos são a chave do sucesso. O processo de elaboração de um projeto envolve aspectos como motivação, geração de idéias, identificação de potencialidades e previsões. Além dos ciclos de vida dos produtos, considerações legais e de regulamentação também influenciam as decisões do projeto.

Os produtos manufaturados, em sua maioria, bem como seus componentes, são definidos por um desenho, normalmente conhecido como *desenho técnico*, assinalam Heizer e Render (*op. cit.*), que será um item da *lista de material*. A lista de material relaciona os componentes, sua descrição e a quantidade de cada um necessária à fabricação de uma unidade do produto. As especificações técnicas podem também incluir códigos para facilitar a *tecnologia de grupo*. A tecnologia de grupo permite a identificação de famílias de itens e facilitam a padronização de materiais, componentes e processos, trazendo várias vantagens para o PCP, como a redução da quantidade de materiais, redução dos tempos de *set-up* e dos tempos de processamento.

Um bom projeto precisa levar em conta também a maneira como o produto será fabricado e montado. Desenhos de montagem, diagramas de montagem, folhas de roteiros são alguns documentos para assistir a produção de um produto. A folha de roteiro contém informações essenciais para o PCP, pois lista as operações (inclusive montagem e inspeção) para produzir o componente com o material especificado na lista de material.

2.3.5 Programação da produção

Seguindo o modelo proposto por Fandel, François e Gubitz (1994), a programação da produção compreende atividades de médio e curto prazo, desde o planejamento dos itens finais (definição das atividades primárias ou programa-mestre de produção) até os programas detalhados de produção. A abordagem deste tópico contempla estas atividades: programa-mestre de produção, programação das etapas intermediárias e seqüenciamento.

-Definição das necessidades primárias (programa-mestre de produção)

O programa-mestre de produção “é o plano periódico que especifica a quantidade e o momento em que a empresa planeja produzir cada um dos itens finais, e está no nível logo abaixo do plano agregado”, conforme especificam Davis, Aquilano e Chase (2001, p. 502). Os planos produtivos agregados de longo prazo, que tratavam de

famílias de produtos, são desagregados em planos específicos de produtos acabados (bens ou serviços) para o médio prazo, no sentido de direcionar as etapas de programação e execução das atividades operacionais da produção, como montagem, fabricação e compras. Conforme Tubino (*op. cit.*, p. 88), o planejamento-mestre da produção faz a conexão, através da montagem do programa-mestre da produção, entre o planejamento de longo prazo (planejamento agregado) e as atividades operacionais da produção, conforme se observa na figura II.4.

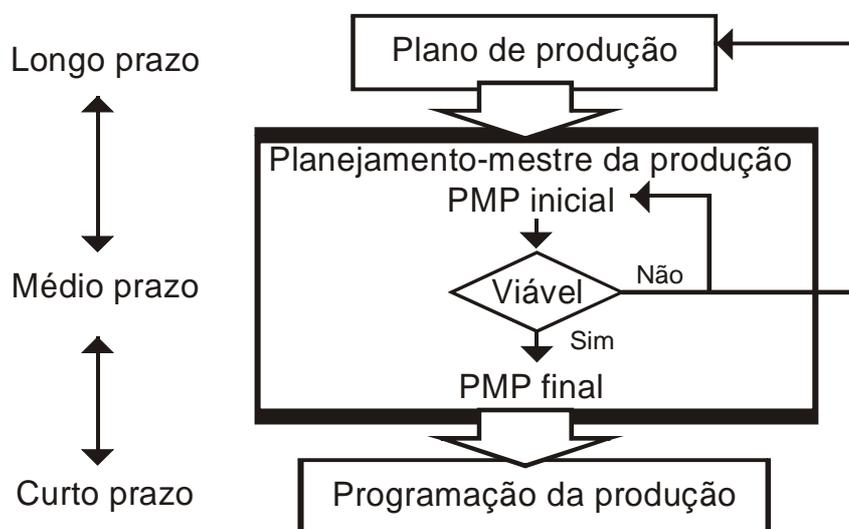


Figura II.4 - Hierarquização dos planos
Fonte: Tubino (1997, p. 89)

O resultado do planejamento-mestre da produção é o programa-mestre de produção (PMP), que é elaborado de forma iterativa, e apresentará, no final, os anseios das diversas áreas da empresa que têm um contato mais direto com a manufatura, como Finanças, Marketing, Compras, Recursos Humanos e Produção. Fandel, François e Gubitz (1994) denominam esta fase como planejamento das necessidades primárias de itens finais, cujas quantidades brutas (decorrentes dos pedidos) são subtraídas das quantidades existentes em estoque, para gerar as necessidades líquidas, “que são o ponto de partida para a apuração de necessidades de material, de datas e prazos e das demais atividades da programação”. (ERDMANN, 1998, p. 31)

Para informatizar o processo de cálculo do PMP, são necessárias algumas informações detalhadas para cada um dos itens que serão planejados, como

demanda prevista, demanda confirmada, quantidades já programadas anteriormente e estoques disponíveis. Quando o número de produtos acabados é muito grande e essa quantidade é derivada da gama de combinações de opções que podem ser escolhidas pelo cliente para compor um produto acabado, é possível simplificar o processo. Programa-se, via PMP, os componentes do nível abaixo e controla-se os produtos acabados através de um programa específico de montagem final. (TUBINO, 1997, p.94)

O PMP trabalha com a variável tempo em duas dimensões. Uma é a determinação da unidade de tempo para cada intervalo do plano, que varia de empresa para empresa e depende da velocidade de fabricação do produto e da possibilidade prática de alterar o plano. Outra é a amplitude, ou horizonte, que o plano deve abranger em sua análise. A dinâmica de tempo do PMP é demonstrada na figura II.5.

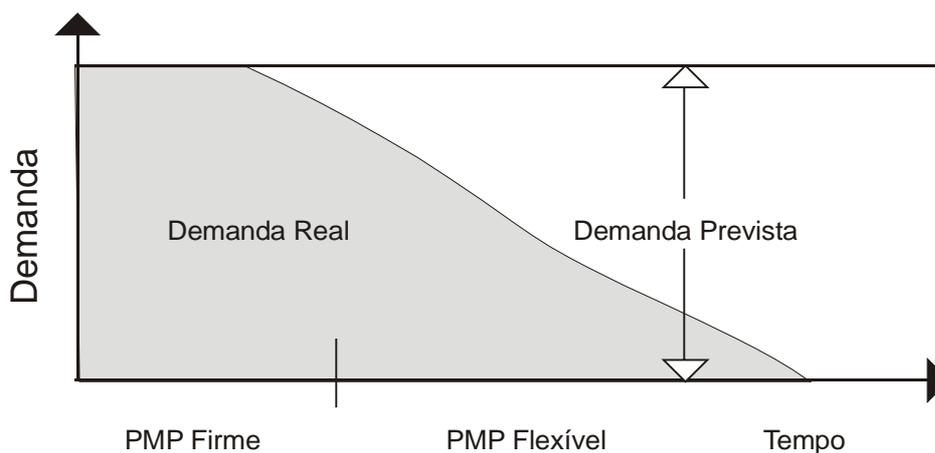


Figura II.5 - A dinâmica do PMP
Fonte: Tubino (1997, p. 95)

Um aspecto importante do PMP é gerar um plano que seja viável. Portanto, o objetivo é não prosseguir com um plano que trará problemas futuros quanto à sua operacionalização. Como o PMP gerado é um desmembramento do plano de produção a longo prazo, a princípio não se cometem erros de grande monta. Todavia, ajustes a médio prazo na capacidade produtiva, antes não incluídos, podem ser necessários, como por exemplo a necessidade de horas extras, o remanejamento de funcionários, ritmo de entrega de itens externos, espaço para a recepção e armazenagem de componentes etc.

O objetivo da fixação de limites de tempo é manter um fluxo razoável e

controlado através do sistema de produção, segundo Davis, Aquilano e Chase (*op. cit.*). A existência de dois horizontes de tomada de decisões dentro do PMP faz com que a análise da capacidade de produção não busque atuar sobre a parte fixa do PMP, mas sobre a parte variável do plano. Evita-se, assim, que o sistema se torne caótico e cheio de pedidos vencidos.

-Programação das etapas intermediárias de produção

Com base no PMP e nos registros de controle de estoques, a programação da produção calcula as necessidades de materiais, determina as datas intermediárias e faz o ajuste de prazos e capacidade, conforme assinalam Fandel, François e Gubitz (*op. cit.*). Para Tubino (*op. cit.*), a programação está encarregada de definir quanto e quando comprar, fabricar ou montar cada item necessário à composição dos produtos acabados propostos pelo programa-mestre. Como resultado da programação da produção, são emitidas ordens de compras para os itens comprados, ordens de fabricação para os itens fabricados internamente, e ordens de montagem para submontagens intermediárias e montagem final dos produtos definidos no PMP. Em geral, a programação pode ser definida, segundo Baker (1974, p.2), como “alocação de recursos no tempo para a realização de tarefas (*jobs*)”. Para Hax e Candea (1984), *apud* Pacheco (1999), programação é a ordenação das operações pelas máquinas, com a determinação do momento de início e fim de cada operação, enquanto que o seqüenciamento trata de estabelecer, em cada máquina, a ordem ou seqüência na qual as ordens serão processadas. Pode-se afirmar que a programação é construída inicialmente determinando-se a seqüência de operação das ordens, e posteriormente o momento de início e término de cada uma das operações levando em conta o sincronismo necessário entre as máquinas.

Um programa pode ser também entendido, segundo Pörtl (2001), como um agrupamento de ordens similares que deverão ser executados simultaneamente uma após a outra, considerando determinadas limitações de recursos (restrições) no processo (máquinas, pessoas, espaço, material, energia, embalagem, meio de transporte, ferramenta).

A atividade de seqüenciamento busca gerar um programa de produção que

utilize inteligentemente os recursos disponíveis, promovendo produtos de qualidade e custos baixos. A emissão e liberação de ordens implementa o programa de produção, emitindo a documentação necessária para o início das operações (compra, fabricação e montagem) e liberando-a quando os recursos estiverem disponíveis. A emissão de ordens pode ser feita diretamente quando se está desmembrando ou “explodindo” o PMP, ou indiretamente, através do controle de estoques. Normalmente, estas duas modalidades são usadas em paralelo, emitindo-se as ordens diretamente para os itens de níveis superiores (mais próximos dos produtos acabados), e para os itens de níveis inferiores, como matérias-primas, materiais indiretos e de apoio à produção, trabalhando-se pelo método indireto com o controle de estoques. Já no sistema de puxar a produção, as atividades de programação da produção são operacionalizadas pelo emprego do sistema *kanban*.

No tópico 2.5.1 será retomado o assunto da programação da produção, com demonstração detalhada das dificuldades inerentes a esta atividade.

-Seqüenciamento

As necessidades de fabricação e montagem normalmente precisam passar por um sistema produtivo com limitações de capacidade. Conforme Heizer e Render (2001, p. 432), “a programação fornece uma base para alocação de tarefas a centros de trabalho. A alocação de carga é uma técnica de controle da capacidade que ressalta a sobrecarga e as ociosidades, e o seqüenciamento especifica a ordem em que as tarefas devem ser executadas em cada centro de trabalho”. Dentro da dinâmica empresarial, instabilidades a curto prazo, como cancelamentos, adiantamentos ou acréscimos em pedidos dos clientes, alterações nas especificações dos itens, ou ainda, deficiências na qualidade e nos ritmos de trabalho, fazem com que a eficiência do sistema produtivo dependa fundamentalmente de um processo dinâmico de seqüenciamento e emissão do programa de produção.

Por outro lado, muitas dessas instabilidades estão relacionadas às características do próprio sistema produtivo com o qual está se trabalhando. Em sistemas do tipo contínuo, as opções de produtos e processos são bastante limitadas, restando à programação da produção apenas definir os volumes desejados dos itens. No outro extremo, em sistemas que trabalham por projetos, a cada novo pedido de clientes, toda a seqüência de ordens de produção,

normalmente, deve ser refeita, alterando-se prioridades e ordens já emitidas. Neste caso, a programação da produção deve incluir esta dinâmica de processamento. Na prática, é comum encontrar empresas que possuem combinações destes sistemas, como, por exemplo, produzir repetitivamente em lotes na fabricação das peças, e de forma contínua nas linhas de montagem dos produtos acabados, ou ainda, ter um sistema de produção repetitivo em lotes para itens estocáveis e atender pedidos especiais sob encomenda. O PCP, nestes casos, deve trabalhar de forma híbrida, assevera Tubino (*op. cit.*).

De acordo com esse autor, (*op. cit.*, p. 153), dois aspectos podem ser considerados para o seqüenciamento em processos repetitivos em lotes: a escolha da ordem a ser processada (decisão 1) e a escolha do recurso (decisão 2). A seleção da ordem consiste no estabelecimento de prioridades baseadas nos objetivos pretendidos, e no segundo caso a seleção diz respeito à escolha do recurso dentre um grupo de recursos disponíveis.

A figura II.6 ilustra a afirmação de Tubino.

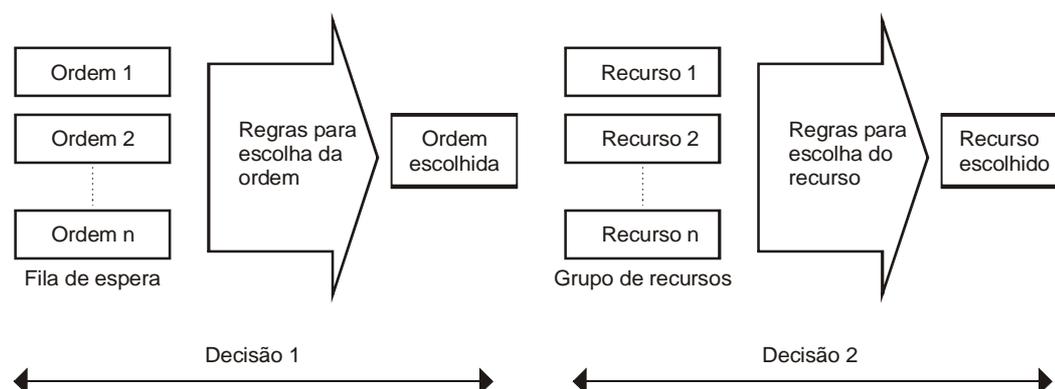


Figura II.6 - Decisões no seqüenciamento de processos repetitivos em lotes
Fonte: Tubino (1997, p. 153)

Tubino (*op. cit.*, p. 155) observa ainda que as regras de seqüenciamento são heurísticas utilizadas para priorizar ordens e selecionar recursos. Embora haja soluções matemáticas otimizantes para o problema do seqüenciamento, como a programação linear, na prática as empresas preferem trabalhar com soluções simplificadas, pois freqüentemente a dinâmica do ambiente dificulta o uso de modelos matemáticos, devido a sua variabilidade constante. As regras heurísticas de seqüenciamento, embora não garantam uma solução ótima, procuram chegar a uma solução boa e rápida em relação aos objetivos pretendidos.

As regras de seqüenciamento podem ser classificadas segundo várias óticas. Podem ser divididas em regras estáticas e regras dinâmicas, regras locais e regras globais, de prioridades simples e combinação de regras de prioridades simples, regras com índices ponderados e regras heurísticas sofisticadas. As regras heurísticas mais sofisticadas determinam as prioridades incorporando informações não associadas ao trabalho específico, como a possibilidade de carregar antecipadamente o recurso, o emprego de rotas alternativas, a existência de gargalos no sistema etc. (TUBINO, *op. cit.*)

De modo geral, as regras de seqüenciamento, que são mais encontradas na literatura, e mais empregadas na prática, conforme Tubino (*op. cit.*), estão apresentadas no Quadro II.4.

Quadro II.4 – Regras de seqüenciamento

Sigla	Especificação	Definição
PEPS	Primeira que entra primeira que sai	Os lotes serão processados de acordo com sua chegada no recurso.
MTP	Menor tempo de processamento	Os lotes serão processados de acordo com os menores tempos de processamento no recurso.
MDE	Menor data de entrega	Os lotes serão processados de acordo com as menores datas de entrega.
IPI	Índice de prioridade	Os lotes serão processados de acordo com o valor da prioridade atribuída ao cliente do produto.
ICR	Índice crítico	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: (data de entrega – data atual) / tempo de processamento.
IFO	Índice de folga	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: <u>Data de entrega - Σ tempo de processamento restante</u> / número de operações restante
IFA	Índice de falta	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: quantidade em estoque / taxa de demanda.

Fonte: Tubino (1997, p. 157)

Uma outra heurística bastante conhecida é a regra de Johnson, cujo seqüenciamento obtido apresenta, conforme Tubino (*op.cit.*), o menor *lead-time* total de um conjunto de ordens processadas em dois recursos sucessivos. O objetivo desta abordagem, segundo Davis, Aquilano e Chase, é minimizar o tempo de fluxo,

a partir do início da primeira tarefa até a conclusão da última. Stevenson (2001) acrescenta ainda que ela minimiza o tempo total de ociosidade nos centros de produção), desde que as seguintes condições estejam satisfeitas:

- os tempos de processamento devem ser conhecidos (inclusive os de *set-up*) e independentes da seqüência escolhida;
- todas as ordens são processadas na mesma direção;
- não existem prioridades;
- as ordens são transferidas de uma máquina para outra apenas quando completadas.

Atendidas estas condições, devem ser seguidos os seguintes passos:

- selecionar o menor tempo entre todos os tempos de processamento das ordens a serem programadas nas máquina A e B; no caso de empate a escolha pode ser arbitrária;
- se o tempo escolhido for da máquina A, programar esta máquina no início. Se o tempo escolhido for na máquina B, programar esta ordem para o final;
- eliminar a ordem escolhida da lista de ordens a serem programadas e retornar ao primeiro passo até programar todas as ordens.

2.3.6 Emissão e liberação de ordens

Burbidge (1983) considera a emissão de ordens como uma “quebra” dos planos de produção em ordens para materiais e peças, e a liberação como a organização da execução, em termos de compras e fabricação propriamente dita. Para Erdmann (1998, p. 32), “a função liberação interpreta e executa o programa de produção, operando a curto prazo”.

A emissão e liberação de ordens é a última atividade do PCP antes do início da produção propriamente dita. As ordens permitirão aos setores operacionais, segundo Tubino (1997, p. 179), “executarem suas atividades de forma coordenada, no sentido de atender determinado PMP projetado para o período em questão”. Meredith e Shafer (2002, p. 248) salientam que a liberação consiste na “liberação

física de uma ordem de trabalho do PCP para a produção”, manualmente ou através de sistemas computadorizados. Tubino (*op. cit.*) complementa que as ordens podem ser emitidas em papel impresso, ou disponibilizadas *on-line* nos terminais dos setores das empresas. A tendência, segundo o conceito da manufatura integrada por computador (*Computer Integrated Manufacturing – CIM*), cujo conceito será melhor explicado adiante, é passar diretamente a programação para as máquinas, sem interferência humana.

Além da especificação do item, do tamanho do lote, data de início e conclusão das atividades, as ordens podem conter outras informações, como o roteiro e a seqüência de operações a seguir. Além disso, juntamente com as ordens, podem seguir outras instruções para o trabalho, como desenhos, por exemplo.

Uma recomendação importante a ser observada nesta etapa, por parte dos profissionais do PCP, é a verificação, antes da liberação das ordens aos setores operacionais, da disponibilidade de todos recursos previstos, para evitar que as ordens deixem de ser cumpridas por falta de matéria-prima ou algum componente ou ferramenta.

2.3.7 Acompanhamento da produção

O acompanhamento e controle da produção, conforme Burbidge (1983, p. 482), “é responsável por fazer comparações de rotina entre o desempenho real e os planos de produção, e por informar os desvios excepcionais, de forma que possam ser corrigidos”. Para Erdmann (1998, p. 33), controlar ordens significa “coletar dados sobre alterações nas ordens e disponibilidade de capacidade e promover as adaptações exigidas”.

Tubino (1997) pondera que, apesar de teoricamente os recursos necessários para a execução dos planos de produção terem sido planejados e programados pelo PCP, na prática, infelizmente, a ocorrência de desvios entre o programa de produção liberado e o executado é a situação mais comum. Quanto mais rápido os problemas forem identificados, ou seja, quanto mais eficientes forem as ações do

acompanhamento e controle da produção, menores serão os desvios a corrigir, menor o tempo e as despesas com ações corretivas.

Slack, Chambers e Johnston (2002) alertam que o controle das operações pode ser uma tarefa bastante difícil, pois as organizações são sistemas sociais, cheios de interações complexas e ambíguas. Nem sempre existe consenso sobre os objetivos das operações, podendo coexistir objetivos diferentes, muitas vezes conflitantes, que competem entre si. Pode ocorrer ainda que haja dificuldade de mensurar as saídas da operação, ou que não haja conhecimento suficiente sobre o comportamento desta, impedindo a previsão dos efeitos das intervenções, ou ainda que a repetição das atividades da operação seja muito baixa, dificultando o aprendizado.

Segundo Tubino (*op. cit.*), em processos contínuos, ou de produção em massa, o *feed-back* das informações deve ser rápido, com coleta de dados em tempo real e acompanhamento *on-line*, pois em pouco tempo, devido a alta velocidade produtiva, os desvios poderão ser grandes. No outro extremo, nos processos por projetos, o *feed-back* das informações produtivas pode ser semanal ou maior, visto que os ritmos de alterações nas tarefas produtivas são desta magnitude. Entre esses dois extremos, há os processos repetitivos em lotes, em que a frequência de coleta das informações deve ser compatível com a velocidade de produção dos lotes. Convencionalmente, com lotes grandes e dentro da lógica dos *softwares* baseados no MRPII, os *feed-backs* são normalmente semanais, raramente diários. Já em sistemas mais modernos e automatizados, em que se busca flexibilidade e lotes pequenos, os *softwares* de planejamento fino da produção, permitem acompanhamento até em tempo real, apesar de geralmente não serem necessários.

Um programa emitido pode ser acompanhado e controlado pelo PCP por meio de várias atividades, conforme aponta Tubino (*op. cit.*, p. 187):

- Coleta e registro de dados sobre o estágio das atividades programadas;
- Comparação entre o programado e o executado;
- Identificação dos desvios;
- Busca de ações corretivas;
- Emissão de novas diretrizes com base nas ações corretivas;
- Fornecimento de informações produtivas aos demais setores da empresa

(Finanças, Engenharia, Marketing, Recursos Humanos etc.);

- Preparação de relatórios de análise de desempenho do sistema produtivo.

2.4 Técnicas de Programação da Produção

A programação de produção é executada segundo algumas orientações principais, conforme expõe Erdmann (2000, p. 107). O autor destaca as seguintes formas de programar:

- por períodos de tempo – a técnica do período-padrão;
- por tamanho de lote - a técnica do lote padrão;
- para manutenção de estoques;
- para carga de máquina – a técnica da carga;
- para elaboração de um produto especial – a técnica do produto;
- para atendimento de um cliente ou um lote específico;
- a partir do cálculo dos recursos necessários – a técnica do MRP.

A técnica do período padrão é muito conhecida e consiste em programar a produção em intervalos de tempo. Este método facilita o ordenamento das operações e sua aplicação volta-se para ambientes de produção intermitente repetitiva, podendo ser aplicada em combinação com outros princípios, como a programação por lotes ou para atendimento de clientes especiais.

A programação por lotes é muito difundida. As atividades são programadas para serem realizadas em quantidades pré-definidas em função das demandas ou por conveniências ou imposições do processo. O critério de custo também pode ser utilizado para definir o tamanho do lote. A programação de produção de uma indústria com processo repetitivo em lotes pode ser feita com gráficos de Gantt, que se tornaram conhecidos desde a 1^a. Guerra Mundial. São utilizados nas indústrias de todo mundo, tanto para carga de máquina, na preparação do programa de produção, como para progresso, como cronograma, assinalam Contador e Contador (1998).

A programação da produção para manutenção de estoques orienta-se por um determinado nível de estocagem julgado adequado. Consiste em produzir para

repor e assim buscar a uniformidade deste nível de estoques.

A técnica da carga consiste em “carregar” os recursos envolvidos até o esgotamento do tempo disponível, usando algum instrumento como a ficha de carga ou um gráfico de Gantt. A preocupação, neste caso, está em utilizar, de forma integral, ou mais intensamente possível, os recursos disponíveis.

A técnica do produto é utilizada para atender produtos especiais, feitos apenas uma única vez, ou no máximo, algumas poucas vezes, para clientes específicos (processos por projeto). Nestes casos, o instrumento mais utilizado é a rede de planejamento, através do *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), e o *Critical Path Method* (CPM), conhecida como rede PERT/CPM.

Em todas técnicas para programar pedidos por encomenda está presente o conceito de programação para frente e programação para trás, assim como a determinação finita e infinita da carga, assinala Arnold (1999). A programação para frente assume que a programação da operação de um item começa quando o pedido é recebido, independentemente da data de finalização. Na programação para trás, a última operação é programada primeiro para que seja concluída no prazo de finalização.

Outro conceito relacionado a todo sistema de PCP diz respeito à forma de comandar a produção, conforme assinala Erdmann (2000): “empurrar” a produção (a mais tradicional), “puxar” a produção (associada ao ambiente *just-in-time*), e a orientação do fluxo pela capacidade do recurso gargalo. Os dois primeiros são considerados princípios operativos básicos, enquanto que o terceiro é uma combinação dos dois primeiros.

A evolução da tecnologia de informação, e a crescente informatização, trouxeram progressivos avanços à gestão da produção e ao PCP. O advento dos sistemas MRP trouxe o cálculo das necessidades de materiais, associou-o à elaboração do programa-mestre de produção e estendeu-o também para outros recursos, como o tempo de máquina. Isso viabilizou o cálculo da capacidade, criando o sistema MRP II, que serviu de base para a maioria dos atuais sistemas informatizados de PCP, assinalam Pereira e Erdmann (*op. cit.*). Outros sistemas bastante conhecidos são o JIT (*Just-in-Time*), cuja técnica de programação é o kanban, e a Teoria das Restrições (TOC – *Theory of Constraints*), também conhecida por OPT (*Optimized Production Technology* ou Tecnologia de Produção

Otimizada).

Nos tópicos a seguir, serão feitas considerações adicionais sobre os principais conceitos do MRP e MRPII, TOC, sistemas de planejamento com capacidade finita, sistemas híbridos e a manufatura integrada por computador.

2.4.1 MRP e MRPII

Os sistemas MRP e MRPII, de acordo com Correa e Giancesi (1998), são certamente os que mais têm sido implantados pelas empresas, ao redor do mundo, desde os anos 70.

O princípio básico por trás do sistema MRP é o *cálculo de necessidades*, uma técnica que permite o cálculo, normalmente viabilizado pelo uso do computador, das quantidades e momentos em que são necessários os recursos de manufatura (materiais), para que se cumpram os programas de entrega de produtos, com um mínimo de formação de estoques. Este cálculo é feito a partir das necessidades dos produtos finais (quantidades e datas). A seguir, são calculadas para trás, no tempo, as datas em que as etapas do processo de produção devem acabar e começar. Finalmente, são determinados os recursos, e respectivas quantidades, necessários para que se execute cada etapa. Dado um produto, ele é “explodido” em todos os seus componentes até o último nível de detalhe, definindo-se sua lista de material. Esta constitui-se na espinha dorsal do MRP. Por meio dela serão consolidados todos os itens comuns a vários produtos, verificado a disponibilidade de estoques, e quando for o caso, emitida a lista de itens faltantes. (MARTINS e LAUGENI, 1999)

Este sistema é conhecido também como método de empurrar a produção, desde a compra de matérias-primas e componentes até os estoques de produtos acabados. A lógica de cálculo é bastante simples e conhecida há muito tempo. Sua utilização em processos de manufatura complexos, porém, era impossível até meados da década de 60. Não havia disponibilidade de computadores com capacidade suficiente de armazenagem e processamento de dados para tratar o volume de dados que o cálculo de necessidades requer numa situação real.

Correa e Giancesi (*op. cit.*) assinalam que o cálculo de necessidades permitiu a constatação da diferença básica entre os conceitos de itens de *demanda*

independente e itens de *demanda dependente*. Os itens de demanda independente, tipicamente produtos finais, são aqueles cuja demanda têm de ser prevista, com base nas características do mercado. Os itens de demanda dependente são aqueles cuja demanda pode ser calculada, com base na demanda dos itens finais.

Com a extensão do conceito do cálculo de necessidades ao planejamento dos demais recursos de manufatura, além dos materiais, como equipamentos e mão-de-obra, originou-se o conceito MRPII. Além das informações já utilizadas pela base de dados do MRP, como informações sobre itens (dados cadastrais e tempos de ressuprimento) e posição dos estoques ao longo do tempo, tiveram que ser acrescentadas informações sobre os recursos produtivos da fábrica, roteiros de produção e taxas de consumo dos recursos na produção unitária de cada item.

Os sistemas MRPII estão disponíveis no mercado na forma de pacotes para computador. Estes são freqüentemente divididos em módulos, os quais têm diferentes funções e mantêm relações entre si. Os pacotes comerciais disponíveis apresentam uma grande similaridade quanto aos módulos e lógica principais. Os módulos principais do MRPII são os seguintes:

- *módulo de planejamento da produção* – também conhecido como módulo de planejamento de vendas e operações, define os grandes rumos que a empresa vai tomar em relação a famílias de produtos, usando informações agregadas sobre previsões de demanda, períodos de planejamento e grupos de recursos;
- *módulo de planejamento-mestre da produção* – desagrega o planejamento de vendas e operações para produtos finais específicos;
- *módulo de cálculo de necessidades de materiais* – calcula a necessidade de componentes, em termos de quantidades e momentos, a partir do plano-mestre de produção;
- *módulo de cálculo de necessidades de capacidade* – calcula as necessidades de outros recursos produtivos a partir do plano de materiais;
- *módulo de controle de fábrica* – faz a realimentação, para o planejamento, das ocorrências reais para comparar com o planejado e permitir replanejamentos corretivos;
- *módulos de atualização dos dados cadastrais e de controle de estoques*.

A Figura II.7 demonstra o inter-relacionamento entre os módulos do MRPII.

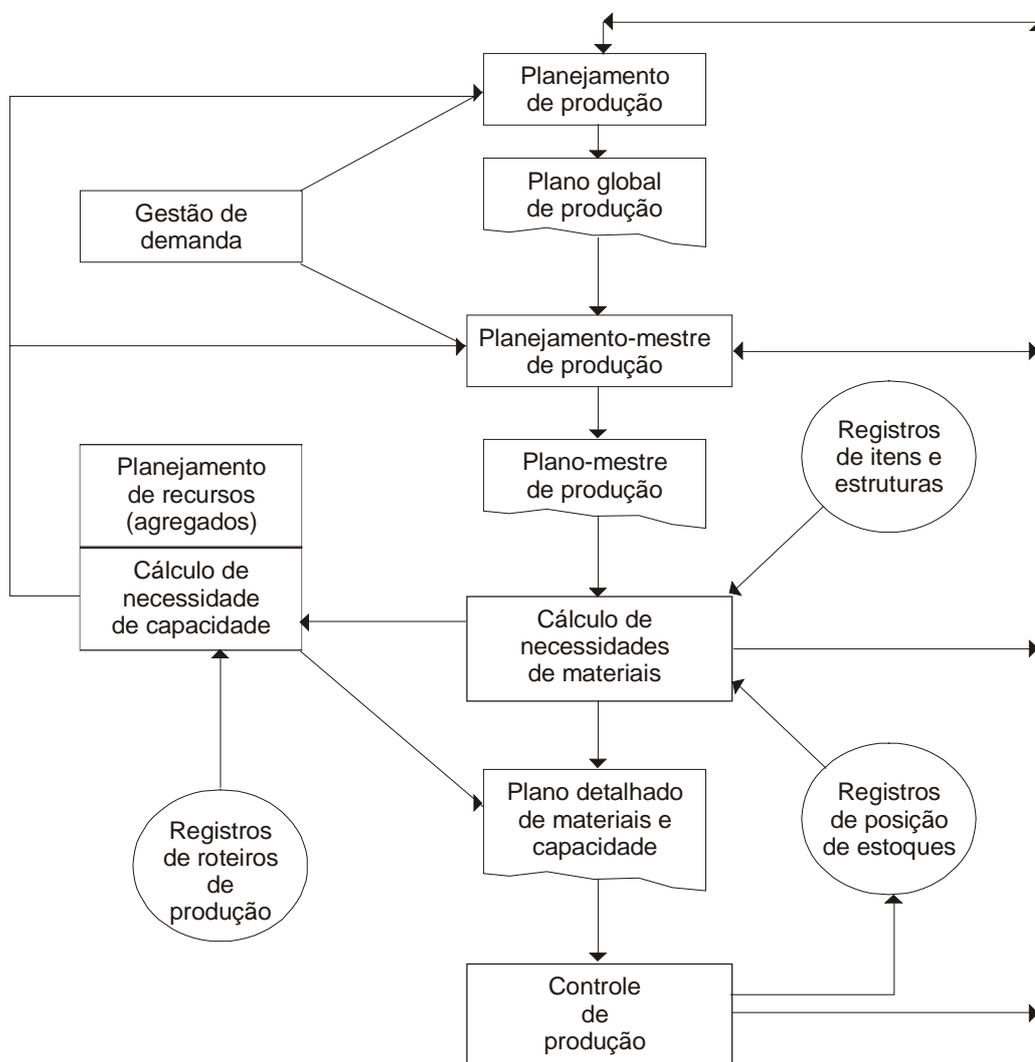


Figura II.7 - Inter-relações entre os módulos principais de um sistema MRPII típico.

Fonte: Corrêa e Gianesi, 1996, p. 117

Uma das principais limitações dos sistemas MRP/MRPII, de acordo com Corrêa, Gianesi e Caon (2001), é o fato de serem sistemas considerados *passivos*, isto é, assumem como verdadeiras as características do processo produtivo, traduzidas em parâmetros que são incorporados ao banco de dados do sistema. A outra se refere ao aspecto de que a capacidade disponível é considerada infinita quando da geração do plano de materiais.

2.4.2 Kanban

O sistema de “puxar” a produção a partir da demanda, produzindo em cada estágio somente os itens necessários, nas quantidades necessárias e no momento necessário, é conhecido como sistema *kanban*, que é um método de programação e controle local para coordenar o fluxo de materiais e produtos, de forma sincronizada, entre um fornecedor e um produtor (internos ou externos), através de instrumentos de controle visual, geralmente cartões (*kanban* é um termo japonês que significa cartão).

O sistema *kanban* está vinculado à filosofia *just-in-time*, que surgiu no Japão em meados da década de 70, sendo sua idéia básica e seu desenvolvimento creditados à Toyota Motor Company. O *just-in-time* é uma filosofia de produção que, segundo Heizer e Render (2001, p. 349), está voltada para a agregação de valor através da eliminação de desperdício e da redução da variabilidade dos processos, ou seja, “uma filosofia de solução de problemas contínua e obrigatória”. Os suprimentos e componentes são “puxados” para chegar *aonde* são necessários e *quando* são necessários. Como não há estoques e nem tempo em excesso num sistema JIT, os custos são reduzidos, com melhoria de desempenho.

Slack, Chambers e Johnston (2002) afirmam que o JIT não é só uma filosofia voltada para a redução dos desperdícios e para a melhoria contínua, mas também um conjunto de técnicas para aplicação na manufatura (células de manufatura, redução de *set-up*, lotes pequenos, manutenção produtiva total, relacionamento estável com fornecedores etc.), e um sistema de planejamento de controle (*kanban*), que para seu pleno funcionamento requer o comprometimento das pessoas envolvidas.

Segundo Correa e Giansi (1998), várias expressões são encontradas para traduzir aspectos da filosofia JIT:

- produção sem estoques;
- eliminação de desperdícios;
- manufatura de fluxo contínuo;
- esforço contínuo na resolução de problemas;
- melhoria contínua dos processos.

O sistema de cartões *kanban* pode ser de apenas um cartão (de produção ou de transporte) ou de dois cartões (de produção e de transporte). Tubino (1997) denomina os cartões de transporte como cartões de requisição ou de movimentação, subdividindo-os em cartões de requisição interna e cartões de fornecedor.

O programa-mestre de Produção (PMP) deve considerar na sua elaboração, para uma manufatura repetitiva e eficiente, uma carga nivelada ao longo de um horizonte relativamente grande, para que produção flua tão suavemente quanto possível, salientam Davis, Aquilano e Chase (2001). A partir do PMP, que deve possuir também um “período congelado” (plano firme), são dimensionadas as quantidades de *kanbans* nos estoques em processo.

Existem ainda outros tipos de *kanbans*, isto é, meios de sinalização para ativar a produção e a movimentação dos itens, como o *kanban* contenedor, o quadrado *kanban*, o painel eletrônico e o *kanban* informatizado. (TUBINO, 1997, p. 202)

Tubino (*op. cit.*, p. 203) apresenta ainda algumas condições que devem ser respeitadas para obter o máximo proveito na utilização do sistema *kanban*, que são conhecidas como “regras” para seu bom funcionamento:

- o processo subsequente (cliente) deve retirar no processo precedente (fornecedor) os itens de sua necessidade apenas nas quantidades e no tempo necessário;
- o processo precedente deve produzir seus itens apenas nas quantidades requisitadas pelo processo subsequente;
- produtos com defeitos não devem ser liberados para os clientes;
- o número de *kanbans* no sistema deve ser minimizado;
- o sistema *kanban* deve adaptar-se a pequenas flutuações na demanda.

O principal alvo do JIT é reduzir os estoques, de modo que os problemas fiquem visíveis e possam ser eliminados através de esforços concentrados e priorizados, com evidentes reduções de custo e aumento de produtividade.

Autores como Tubino (*apud* Erdmann, 1998) salientam ainda que a flexibilidade também é um dos pontos altos do JIT, no sentido de rapidamente responder às mudanças de mercado. Todavia, como afirmam Correa e Giansi (1996), o JIT é limitado no que diz respeito a atender as variações de demanda no curto prazo, quando estas são significativas.

2.4.3 Tecnologia de produção otimizada (OPT)

O sistema de administração OPT (*Optimized Production Technology*), que foi desenvolvido em meados da década de 70, é "uma técnica de gestão de produção desenvolvida por um grupo de pesquisadores israelenses, do qual fazia parte o físico Eliyahu Goldratt, que acabou por ser o principal divulgador de seus princípios" (CORREA e GIANESI, 1996, p. 106).

Hoje as empresas devem possuir um sistema flexível de produção, com rapidez no projeto e implantação de novos produtos, com baixos *lead times* e estoques para o atendimento das necessidades dos clientes. A eficiência de qualquer sistema produtivo depende da forma como esses problemas são resolvidos. Para ir ao encontro destas necessidades, Goldratt desenvolveu um processo de otimização contínua, sempre visando ao alcance da meta da empresa, que é ganhar mais dinheiro, salienta Guerreiro (1999). Este processo é composto de cinco etapas, conforme assinala Woeppel (2001), e que Tubino (1997) chama de "heurística de cinco passos":

- A - Identificar a (s) restrição (ões) do sistema.
- B - Decidir como explorar a (s) restrição (ões) do sistema.
- C - Subordinar tudo o mais a restrição acima.
- D - Elevar a (s) restrição (ões) do sistema.
- E - Se num passo anterior uma restrição foi quebrada, volte à primeira etapa, mas não deixe que a inércia gerencial cause uma restrição no sistema.

Ainda segundo Woeppel (op.cit.), existem três tipos de restrições: políticas (paradigmas) que são as mais freqüentes (90% dos casos); recursos tais como máquinas, pessoas, habilidades e mercados (8% dos casos); e limitações de material, que são muito pouco comuns.

A respeito das medidas de desempenho, Goldratt (1992, p. 9) afirma que "se desejamos procurar algo significativo, a primeira providência é olhar para a meta da organização e, depois, se não acharmos qualquer mudança nela, devemos olhar para suas medidas". Para se saber se a organização está indo ao encontro a sua meta são necessárias, segundo Goldratt três perguntas simples: "Quanto dinheiro é gerado pela nossa empresa? Quanto dinheiro é capturado pela nossa empresa? E quanto dinheiro deve-se gastar para operá-la?". Pensando simples, produtividade é

fazer algo que direcione a meta, isto é, ganhar dinheiro, hoje e sempre. Baseado nesta premissa, fica claro e evidente que as medidas de desempenho precisam ser de caráter genuinamente financeiras. É necessário que se faça uma ponte entre o lucro líquido e o retorno sobre investimento, ou seja, que para cada decisão tomada na organização possa-se saber se esta gerará um aumento de receita. Pensando nesta necessidade, desenvolveram-se três medidores chamados de “Medidas Operacionais Globais”:

1. Ganho: É o índice no qual o sistema gera dinheiro através das vendas.

Segundo Goldratt e Fox (1989, p.28), “Se nós produzimos algo e não vendemos, isso não é Ganho, não gera caixa”. Ainda segundo ele, se as três últimas palavras forem retiradas “através das vendas”, obtêm-se uma definição mais precisa, afinal se o sistema gerar dinheiro com juros bancários isto é definitivamente Ganho! Mas existe a necessidade destas três últimas palavras, devido à cultura existente na fábrica de que peça produzida é sinônima de Ganho. De acordo com Corbett (1997, p.43), “ganho é definido como todo dinheiro que entra na empresa, menos o que ela pagou a seus fornecedores; esse é o dinheiro que a empresa gerou; o dinheiro pago aos fornecedores é dinheiro gerado por outras empresas”.

2. Inventário: Compreende todo o dinheiro que o sistema investe na compra de coisas que o sistema pretende vender.

Nesta medida, estão os imóveis da empresa (prédios, terrenos etc), computadores, móveis de escritório, máquinas, carros, caminhões etc., basicamente o ativo da contabilidade de custos, porém com uma importante diferença no inventário de material: não existe valor agregado pelo próprio sistema, nem mesmo de mão de obra direta. É considerado apenas o valor que se paga ao fornecedor pela compra de material ou peças que entraram no produto. Segundo Corbett (*op. cit.*, p.45), “o valor atribuído ao estoque em processo e estoque acabado é igual ao seu custo totalmente variável. Um dos objetivos aqui é o de eliminar a geração de “lucros aparentes” devido ao processo de alocação de custos. Com essa metodologia, não é possível aumentar os estoques em processo e de produtos acabados para aumentar os lucros do período (adiando o reconhecimento de algumas despesas que com certeza irão diminuir os lucros futuros)”.

3. Despesa Operacional: Representa todo o dinheiro que o sistema gasta para

transformar inventário em ganho.

Não se pode considerar Despesa Operacional apenas o dinheiro pago pela mão de obra direta. O vendedor, quando concretiza uma venda, está transformando inventário em ganho. Mestres de produção, gerentes industriais, comerciais ou administrativos, secretárias, operários, faxineiras, equipe de manutenção industrial e executivos, todos foram contratados porque são necessários para transformar inventário em ganho. Então por que diferenciá-los? Apenas porque alguns tocam fisicamente no produto? Segundo Goldratt (1992, p.26), “retirar o valor agregado do inventário não significa que não temos estas despesas”. Não há valor acrescido ao produto; todo o dinheiro que o sistema gasta transformando investimento em ganho é colocado nessa medida. Intuitivamente, considera-se todo o dinheiro que é necessário se colocar dentro de uma máquina para mover suas engrenagens: salários, desde o presidente da empresa até a mão de obra direta, aluguéis, luz, encargos sociais, depreciações etc.

Como mencionam Correa e Giansesi (1996), Goldratt desenvolveu a metodologia TPC (Tambor-Pulmão-Corda), também conhecida como DBR (*Drum-Buffer-Rope*), que é o aplicativo específico para a programação de produção segundo os conceitos da TOC (Teoria das Restrições. De acordo com estes conceitos, numa fábrica existem apenas alguns recursos que limitam o fluxo de materiais, ou Recursos com Restrição de Capacidade (RRC).

Slack, Chambers e Johnston (2002, p. 473) observam que o centro de trabalho gargalo transforma-se num “tambor”, que bate o ritmo para o restante da fábrica, determinando a programação dos setores não gargalo, puxando o trabalho (a “corda”) de acordo com a capacidade do gargalo. Não deve ser permitido a um gargalo trabalhar em ritmo menor que sua capacidade máxima, portanto estoques de proteção devem ser formados antes do gargalo (o “pulmão”), para garantir que ele nunca pare por falta de material.

Num ambiente fabril, o RRC ditará o ritmo de produção para a fábrica inteira, determinando o nível do fluxo de material. Por isso, é chamado de tambor, que não pode parar! Um minuto perdido neste recurso será um minuto perdido no sistema inteiro. Logo, existe uma necessidade de protegê-lo. Vários problemas podem ocorrer no chão de fábrica e interferir no fluxo de material, fazendo o tambor parar. Para proporcionar uma proteção para estes problemas foi criada a figura do pulmão, um inventário que será formado à frente do RRC. É importante salientar que não se trata de estoque de segurança: o pulmão é resultado de uma antecipação da

liberação de matéria prima, que se materializa antes do processo no RRC em forma de estoque protetivo. Por isso, ele é medido em tempo. Conforme Goldratt & Fox (*op. cit.*, p. 98), “... este pulmão de tempo protegerá o Ganho da fábrica contra qualquer interrupção que possa ser considerada dentro do intervalo predeterminado de tempo”.

O inventário gerado na fábrica sempre será uma relação entre o nível de liberação de matéria prima e a velocidade de processamento dos RRC's. Para que exista controle do nível do pulmão desejado, é necessário o controle sobre a liberação de matéria prima. Neste momento, é necessário a corda, amarrada ao RRC, de forma que, o nível de liberação de matéria prima seja o próprio nível de produção do tambor, apenas com um detalhe: observando a antecipação na liberação, determinada pelo dimensionamento do pulmão de tempo.

As relações de tempo na metodologia TPC são apresentadas na figura II.8.

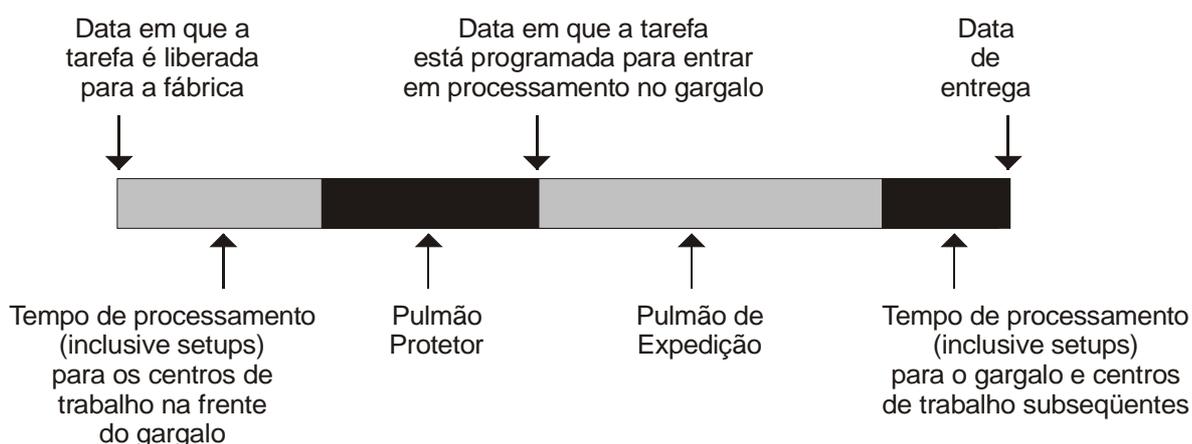


Figura II.8 - Relações de tempo no sistema tambor-pulmão-corda
Fonte: Noreen, Smith e Mackey (1996, p. 35)

2.4.4 Planejamento fino e controle da produção (PFCP)

O conceito de Planejamento Fino e Controle da Produção - PFCP foi criado na Alemanha (*leitphilosophie*), próximo do início da década de 90, dentro do conceito do CIM. É baseado num sistema de suporte à programação e controle do chão de fábrica, chamado “*Leitstand*”, que permite visualizar a situação real através de representações gráficas, conforme assinalam Bremer, Mello e Rozenfeld (1992).

Segundo Fandel, François e Gubitiz (1994), o termo “*Leitstand*” significa “painel

de controle”. O “*Leitstand*” convencional funciona de forma manual, sem apoio da informática, utilizando gráficos, registros, cartas de acompanhamento e controle de prazos. As informações vindas do chão-de-fábrica são utilizadas para atualizar os quadros de planejamento. Elas permitem acompanhar a evolução do trabalho e fazer os replanejamentos, conforme necessidade e disponibilidade dos recursos.

Bremer, Mello e Rozenfeld (*op. cit.*) salientam que o conceito PFCP, embora represente a primeira implementação de sistemas interativos homem/máquina para a programação da produção, de certa forma, não deixa de ser uma implementação, em computador, com mais recursos, da programação manual da produção com gráficos de Gantt, que datam do início do século XX.

Os sistemas que adotam o conceito PFCP podem se integrar a um sistema central de planejamento de uma fábrica, e assim utilizar toda a base de dados disponível. Também podem ser utilizados de forma isolada, para a programação autônoma de determinada linha ou equipamento, observam Fandel, François e Gubitz (*op. cit.*). Trata-se de sistemas especialistas, conhecidos atualmente como sistemas de planejamento fino da produção, ou como sistemas de programação da produção com capacidade finita (*Finite Capacity Systems – FCS*), ou ainda como sistemas avançados de planejamento (*Advanced Planning Systems – APS*). O tópico 2.5.2 deste capítulo apresenta uma abordagem a respeito de sistemas especialistas. Corrêa, Gianesi e Caon (2001), assinalam que estes sistemas surgiram para suprir as principais deficiências encontradas nos tradicionais sistemas de PCP. Os sistemas MRP são conhecidos como bons planejadores de produção em nível macro, mas que falham na programação/seqüenciamento das tarefas no chão-de-fábrica pelo fato de utilizar o conceito de capacidade infinita, e só indicar inviabilidades de utilização de capacidade *a posteriori*. O OPT já é uma tentativa de melhorar o MRP neste aspecto. No entanto, dependendo das características da manufatura, o gargalo pode não permanecer constante, em função de uma série de razões, o que limita a sua aplicação. O JIT é utilizado idealmente em sistemas de manufatura onde as tarefas são repetitivas, os tempos e custos de *set-up* são pequenos e a demanda não sofre grandes variações em curto espaço de tempo.

O PFCP promove uma ligação entre a programação da produção e o chão-de-fábrica, provendo um suporte computacional interativo para a programação manual

da produção. A programação da produção pode ser elaborado pelos métodos convencionais, como por exemplo o MRP, que fornecem as ordens de produção, com suas quantidades e datas de término, que são incorporadas pelo PFCP. Este, por sua vez, apresenta, em forma de Gráfico de Gantt, as operações de cada ordem. Assim, pode-se visualizar a situação real da carga de máquina no chão-de-fábrica, e, de forma interativa, o programador de produção pode interferir na programação. Por exemplo, trocar de máquina, mudar os tempos de operação, a quantidade a produzir, quebrar uma operação em duas ou mais sub-operações, combinar duas operações em uma etc., logicamente limitado pelas restrições existentes, através de uma interface gráfica com o sistema PFCP. Neste sistema, o usuário, conforme Corrêa, Gianesi e Caon (*op. cit.*):

- modela o sistema produtivo, informa os roteiros de fabricação e outras restrições;
- informa a demanda, através do PMP, carteira de pedidos ou previsão de demanda;
- informa a situação corrente das ordens e as condições reais do sistema produtivo;
- modela parâmetros para a tomada de decisões, como regras de liberação e pondera objetivos a serem atingidos.

As informações do controle de produção podem vir por intermédio de apontamentos e incorporadas ao PFCP de forma tradicional (manual). Desta forma, a situação apresentada ao sistema pode não corresponder à real situação da produção, devido à própria dinâmica característica do chão-de-fábrica. O ideal seria obter os dados de produção através de coletores de dados ou sensores, que, ligados *on-line* diretamente ao PFCP, através de rede de computadores, poderiam, a cada momento, fornecer o panorama real do chão-de-fábrica.

O esquema de funcionamento do PFCP pode ser melhor visualizada na figura II.9.

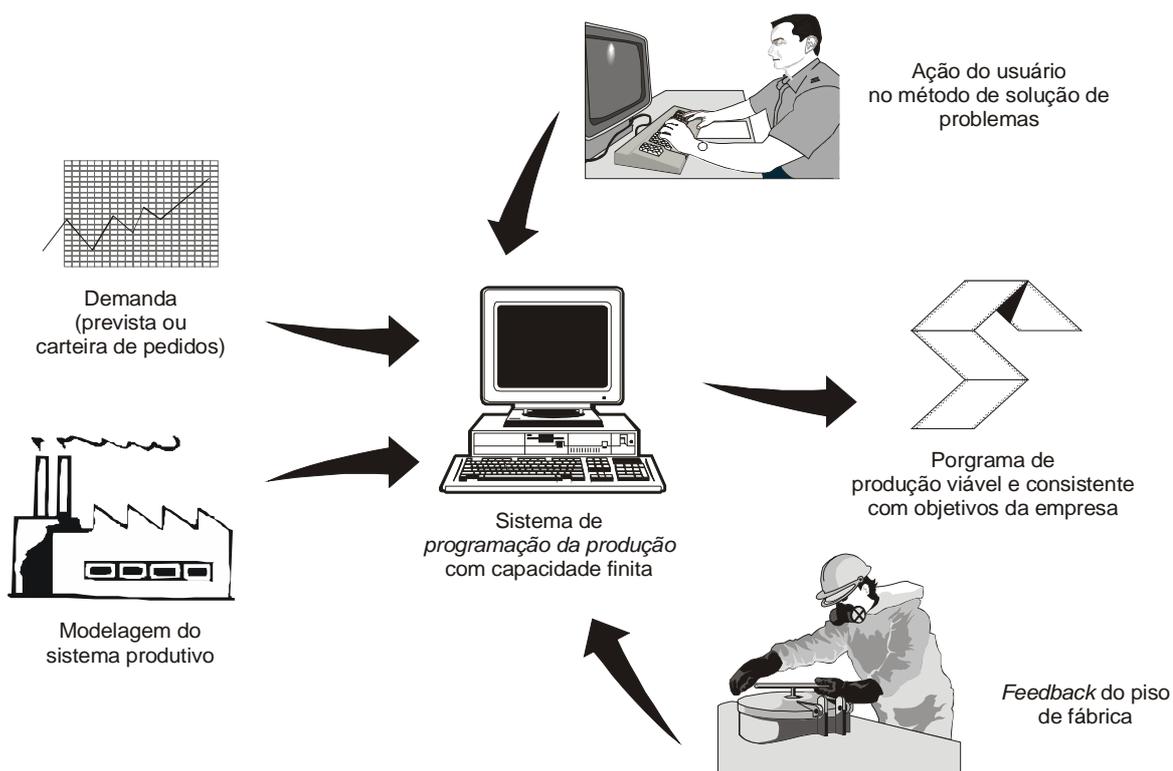


Figura II.9 - Representação esquemática do funcionamento de um sistema de programação da produção com capacidade finita.

Fonte: Corrêa, Gianesi e Caon (2001, p. 327)

Corrêa, Gianesi e Caon (op.cit.) observam que atualmente está havendo um *boom* no desenvolvimento destes sistemas, motivado pela crescente busca de competitividade pelas empresas, aliada à melhor compreensão da importância da programação da produção na estratégia de manufatura das empresas. Outro fator importante nesse processo tem sido o desenvolvimento das técnicas de simulação e de algoritmos baseados em inteligência artificial, além dos equipamentos de *hardware*, que permitem a resolução do problema da programação da produção em tempos viáveis na prática.

2.4.5 Técnicas híbridas

As empresas muitas vezes optam por utilizar técnicas híbridas numa tentativa de utilizar ao máximo as vantagens e vocações de cada sistema (ou lógica). Ptak

(1991) assinala estar convencida de que a implantação bem sucedida de um sistema de administração da produção não irá depender da adoção dos conceitos de um único sistema isoladamente; cada empresa deverá buscar a melhor combinação dos princípios de vários sistemas, de acordo com sua situação particular, e que a solução para uma empresa, ou para um dado segmento industrial, não necessariamente poderá ser generalizado. Segundo as pesquisas de Benton e Shin (1998), a combinação dos princípios de “puxar” e de “empurrar” têm apresentado resultados muito significados nas organizações, contribuindo para reduzir a inflexibilidade do JIT e diminuir o “nervosismo” do MRP.

Corrêa, Giansesi e Caon (2001, p. 362) explicam que sistemas híbridos de administração da produção são aqueles que possuem elementos de mais de uma lógica básica (e.g., MRPII influenciado pela filosofia JIT ou sistemas de programação de produção com capacidade finita) trabalhando de forma integrada.

É necessário que haja um esforço de integração que contemple a “tradução” para uma linguagem comum e uma prática uniforme, e assim obter a desejada sinergia. No híbrido MRPII + *kanban*, o planejamento de longo e médio prazos normalmente fica por conta do MRPII, bem como a responsabilidade pela gestão (planejamento e controle) de matérias-primas e componentes. A gestão detalhada (programação de curtíssimo prazo e controle) é operacionalizada pelas ferramentas do JIT (*kanban* ou outro método visual), conforme demonstrado na Figura II.10.

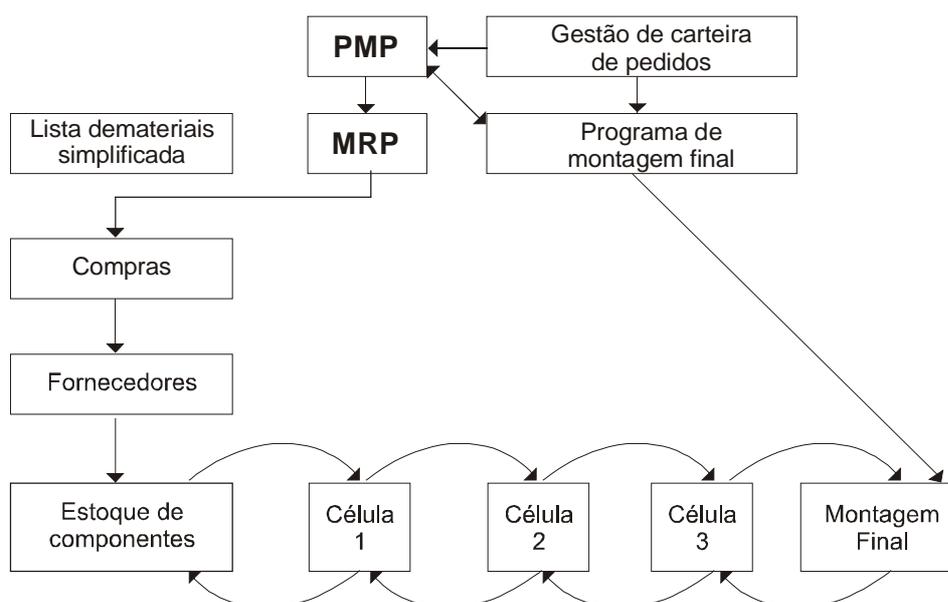


Figura II.10 - Representação esquemática de um sistema híbrido MRPII/JIT
Fonte: Corrêa, Giansesi e Caon (2001, p. 383)

A operação conjunta destas duas “lógicas” requer alguns cuidados e o uso de algumas técnicas específicas para um funcionamento harmonioso. Por exemplo, é preciso definir quais operações serão controladas pelo *kanban*, para evitar a geração de ordens de produção, o que se consegue considerando os itens como fantasmas nas estruturas de produtos. Outro aspecto é a baixa automática de componentes nos almoxarifados onde não há registros para controle das retiradas de material.

O híbrido MRPII + sistemas de programação com capacidade finita tende a ser crescentemente utilizado, principalmente por aquelas empresas que têm como importante recurso limitante a capacidade de produção. Nelas, os sistemas de capacidade finita têm sua principal vocação, que é tratar de problemas complexos de alocação e programação detalhada da produção, muito bem aproveitada. Nesse ponto, como já abordado anteriormente, o MRPII apresenta sérias limitações. No híbrido, o sistema de programação com carga finita recebe as ordens geradas pelo MRPII, refaz o seqüenciamento conforme seus próprios parâmetros e gera um novo programa de produção, como resultado das simulações da passagem das ordens pelo sistema produtivo. Este programa deve ser retroalimentado ao MRPII para que se altere o planejamento de materiais. O módulo do MRPII, que trata do controle de fábrica, pode ser substituído com a integração destes sistemas.

Miltenburg (1997) apresenta um procedimento de cinco passos para inserir os conceitos do OPT no MRP:

- determinar as restrições, comparando as cargas de cada centro de trabalho com a capacidade disponível dos centros de trabalho;
- criar os pulmões de tempo (*buffers*) para proteger os recursos com restrição de capacidade “gargalos”, por meio da criação de centros de trabalho “fantasmas” no MRP, revisar os roteiros e os *lead-times* nestes centros;
- programar o recurso gargalo (*drum*), procurando maximizar a sua utilização, e a partir desta programação, gerar o planejamento-mestre de produção, considerando os *lead-times* (*rope*);
- utilizar o algoritmo do MRP para programar todos centros de trabalho;
- controlar a produção e avaliar o desempenho.

No híbrido MRPII + sistemas de gestão de projetos existe a integração entre os módulos do MRPII e um módulo específico para gestão de projetos,

como o CPM (*Critical Path Method*) e o PERT (*Program Evaluation and Review Technique*).

2.4.6 O PCP e a manufatura integrada por computador

A CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), ou manufatura integrada por computador, é, segundo Erdmann (2000, p. 181), “a tecnologia que, utilizando-se da informação, da computação e da automação, permite a integração de um sistema de produção desde a captação de informações sobre a demanda até a expedição dos produtos”. Ainda, de acordo com Erdmann (*op. cit.*), a CIM inicia com o planejamento da produção (projeto do produto, do processo e estimativa das quantidades a produzir), continua com a programação (determinação precisa das quantidades a produzir, cálculo das necessidades de material, estabelecimento de prazos e capacidades e seqüenciamento), aciona a produção (através de máquinas comandadas por computador como os CN – Controle Numérico – e robôs) e termina no controle, por meio de módulos de captação de dados de quantidade e qualidade da produção. Pode incluir, ainda, outras funções, como o controle da manutenção. Este conceito surgiu na década de 50, porém somente se viabilizou na década de 80 com o desenvolvimento da tecnologia da informação.

O modelo em Y do sistema CIM, desenvolvido por Scheer (Scheer, 1993 e Costa e Caulliraux, 1995), ilustrado na Figura II.11 demonstra os componentes deste sistema.

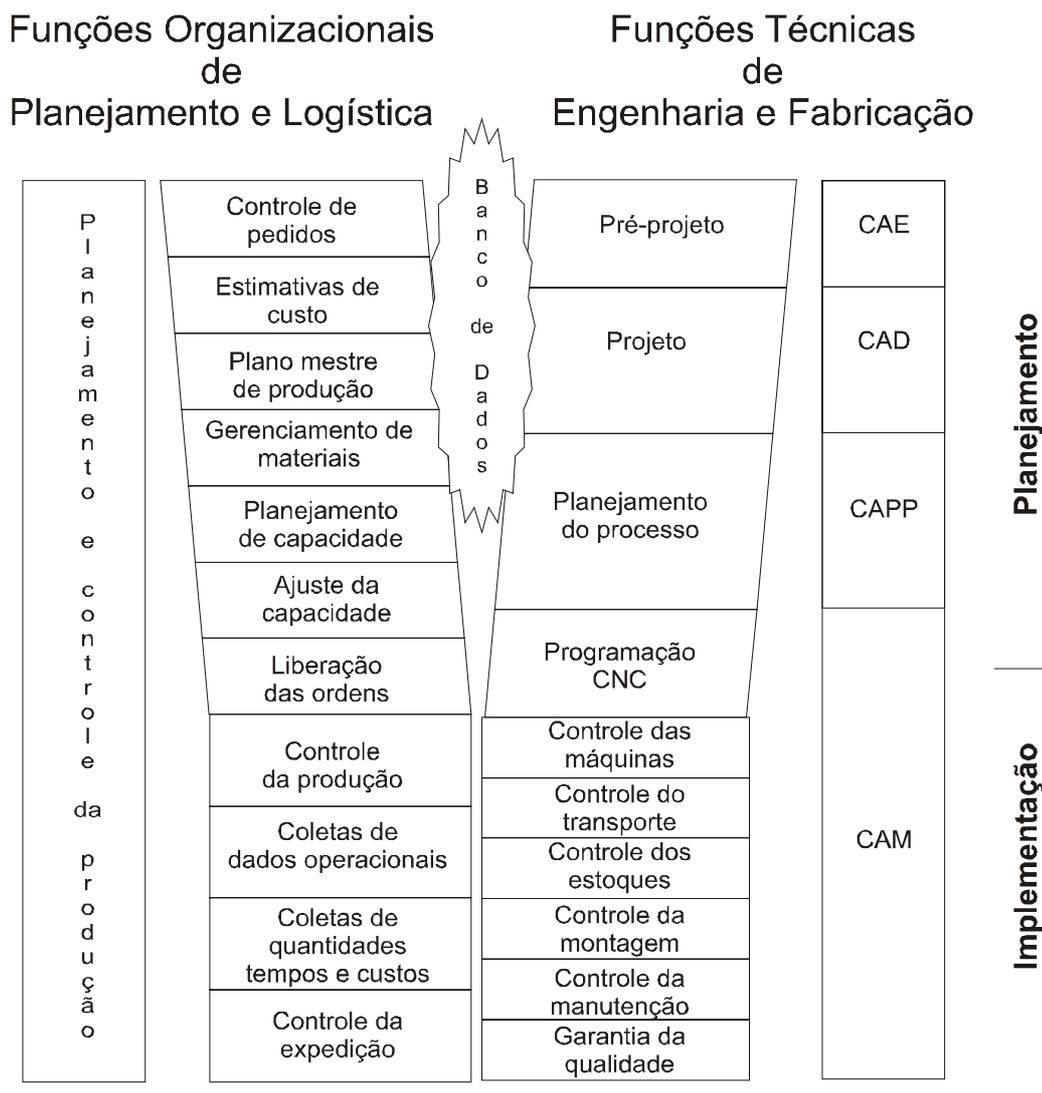


Figura II.11 - Modelo em Y do sistema CIM
 Fonte: Costa e Caulliraux (1995)

2.5 O Desafio da Programação da Produção

O objetivo deste trabalho de tese é elaborar um modelo heurístico para integrar a interface entre o sistema de gestão e o sistema especialista, na programação da produção em fundições de mercado, mecanizadas, com foco para os horizontes a médio e curto prazos. Para fundamentar adequadamente a solução a ser proposta neste trabalho, é necessário, portanto, um aprofundamento adequado em aspectos importantes da programação da produção e em algumas

abordagens utilizadas como alternativas de solução, como métodos heurísticos, simulações e sistemas especialistas. Este tópico, portanto, aprofunda a abordagem inicial feita na descrição do problema e na justificativa, em função da complexidade que envolve o desenvolvimento de um programa de produção consistente, e de suas reprogramações, decorrentes da dinâmica das mudanças no ambiente. Na ocasião, foram igualmente apresentados alguns métodos existentes para o equacionamento desta questão. No capítulo 2, mais exatamente no tópico 2.3.2.2, o assunto programação da produção novamente foi abordado, tendo sido apresentadas suas atividades. No tópico 2.4.4, tema do planejamento fino da produção, ou programação da produção com capacidade finita, também foram apresentados conceitos e sistemas voltados essencialmente para a programação da produção.

2.5.1 O problema da programação

O problema da programação pode ser definido, com observam MacCarthy e Liu (1993) como a alocação de recursos no tempo, de forma a executar um conjunto de tarefas. Programar a produção consiste em definir a ordem de entrada das tarefas a serem executadas na produção, ou seja, determinar como as tarefas devem ser conduzidas de uma máquina para outra. Para Morton e Pentico (1993), a programação da produção envolve a consideração de uma série de elementos que disputam vários recursos por um período de tempo, recursos esses que possuem capacidade limitada. Os elementos a serem processados são chamados de ordens de produção ou *jobs* e são compostos de partes elementares chamadas atividades ou operações. Grande parcela dos problemas de programação estudados aplicam-se ao ambiente conhecido como *job-shop*, que, de acordo com Pacheco e Santoro (1999), é caracterizado por permitir diferentes fluxos das ordens entre as máquinas e diferentes números de operações por ordem, que são processadas uma vez em cada máquina. O *flow-shop scheduling* pode ser considerado como um caso particular de *job-shop scheduling*. A característica do *flow-shop* é que as ordens compõem-se de seqüências de operações estritamente ordenadas. Pörtl (2001) distingue ainda o *permutation-flow-shop*, onde as seqüências são predeterminadas,

mas é possível permutar as ordens.

Pacheco e Santoro (*op. cit.*) apresentam uma classificação dos problemas de *job-shop scheduling*, conforme exposto a seguir:

- quanto ao número de máquinas envolvidas - para uma ou duas máquinas, existem algoritmos simples que garantem uma solução ótima para determinados objetivos. No caso de duas máquinas em série (*flow-shop*), o objetivo de minimização do horizonte de programação ou duração total da programação possui como modelo de solução ótima a regra de Johnson. Esta mesma afirmação é feita por Buxey (1989). Um conjunto de máquinas paralelas pode ser visto como um centro. Nos demais casos, a abordagem é bem complexa, isto é, é um problema para o qual não existem algoritmos que o resolva em tempo polinomial. Trata-se de um “problema de otimização combinatória”.
- quanto à forma de atendimento da demanda – o *job-shop* pode ser considerado aberto, fechado ou misto. No fechado, os produtos são conhecidos e suas demandas podem ser previstas, e a produção pode ser para estoque. Neste caso, a preocupação é com a rapidez de atendimento. No aberto, os produtos são fabricados sob encomenda. Os mistos combinam as características dos *job-shop* abertos e fechados.
- quanto ao processo de chegada das ordens – são classificados de estáticos, quando as ordens estão todas disponíveis no início da programação, ou dinâmicos, quando as ordens vão chegando ao longo do tempo. As dinâmicas podem ainda ser desdobradas em determinísticas, quando os instantes das chegadas são previamente conhecidos, ou estocásticas, quando os instantes seguem uma distribuição de probabilidade.
- quanto ao tempo de processamento das ordens – classificam-se em determinísticos, quando os tempos das operações são fixos e conhecidos, ou estocásticos, quando os tempos das operações são representados por uma distribuição de probabilidades.
- quanto ao tempo de *set-up* – classificam-se em dependentes ou independentes. Problemas com tempos de *set-up* dependentes são aqueles nos quais o tempo de preparação da máquina para executar uma operação depende de qual operação tenha sido executada anteriormente.

- Quanto à existência de restrições de dependência entre operações – classificam-se em tecnologicamente dependentes, onde uma determinada seqüência é desejável ou obrigatória por critérios tecnológicos.

É difícil elaborar uma programação ótima, porque um sistema produtivo lida com a variabilidade de uma série de fatores. Além disso, não existe um método para se identificar uma programação ótima. Seria praticamente inviável fazer a ordenação de um vasto número de alternativas possíveis para se obter a melhor programação, observa Stevenson (2001). Por isso, complementa, a programação está longe de ser uma ciência exata. Além disso, como comenta Saisse (2003), a programação da produção, ou planejamento fino da produção, é uma das atividades características dos níveis operacionais que tem sido pouco tratada do ponto de vista estratégico, e que a maior parte da literatura em estratégia de manufatura, em se tratando de sistemas de gerenciamento da produção, resume-se a um processo de escolha entre ferramentas clássicas como o MRP, JIT ou OPT. Salaria ainda que a complexidade da rotina do planejamento fino da produção é uma questão pouco tratada pela literatura em seqüenciamento. Segundo Terra e Pereira (2000), as decisões de nível operacional tratam de questões relacionadas diretamente ao chão-de-fábrica, como a designação dos pedidos de clientes às máquinas, a liberação, o processamento e a expedição desses pedidos, entre outras. Essas decisões estão relacionadas à atividade de programação da produção, que se encontra no nível mais detalhado e complexo de um sistema de planejamento e controle da produção.

Tubino (1997, p. 148) salienta que o seqüenciamento e a emissão de um programa de produção não deveriam ser atividades complicadas, já que as necessidades de capacidade já foram equacionadas antecipadamente, em planos de longo prazo e no PMP. Entretanto, as instabilidades ambientais de curto prazo fazem com que a eficiência do sistema produtivo dependa essencialmente de um processo dinâmico de seqüenciamento e emissão do programa de produção.

Segundo Heizer e Render (2001), também as regras utilizadas para o seqüenciamento, apresentam algumas limitações, como:

- requerem revisões constantes, decorrentes da dinâmica da programação;
- não se preocupam com o que está à frente ou atrás, portanto alguns gargalos e

recursos ociosos poderão não ser reconhecidos;

- as regras não vêm além das datas de entrega, fazendo com que seja dado o mesmo tratamento, sem que haja outras considerações de prioridades associadas.

Stevenson (*op. cit.*) assinala ainda que as regras de priorização constituem abordagens heurísticas que não levam em conta, por exemplo, o custo e o tempo de *set-up*, que pode variar significativamente em função da seqüência escolhida. A maneira mais simples para se determinar qual seqüência resultará no menor tempo total de *set-up* consiste em criar uma matriz relacionando as seqüências possíveis e determinar o tempo total de *set-up* para cada seqüência. Santos e França (1995) salientam que os objetivos da programação da produção estão associados a custos de produção, e portanto, podem ser expressos em função deles. Os custos mais relevantes são os de preparação de máquinas (*set-up*), ociosidade de máquina, custo de estoques e custos de penalidades por atrasos. Como esses custos variam com a programação, é importante que ela seja otimizada. Nesse sentido, Santos e França recomendam que as ordens com as mesmas características de processamento sejam programadas uma em seguida da outra. O agrupamento de ordens em famílias é crucial para se reduzirem tempos e custos de *set-up*.

Corrêa, Giansi e Caon (*op. cit.*) apresentam ainda outras alternativas comuns de procedimentos adotados em ambientes fabris. Elas não são reconhecidas pelas regras, porém afetam a capacidade, como redução de tempos de fila, por meio de esforço extra, sobreposição de ordens, de ordens ou divisão da ordem em ordens menores e uso de roteiros alternativos.

A eficiência das regras heurísticas também não é a mesma. Montevechi *et al.* (2002) demonstram, num estudo comparativo da eficiência entre quatro regras heurísticas, que a regra que prioriza o maior tempo de trabalho acumulado nos processos seguintes promoveu os melhores resultados, segundo os critérios analisados. Verificaram também que a eficiência de cada regra não se mantém quando submetida a conjuntos de peças com diferentes faixas de tempos de processamento. Citam ainda estudos de alguns autores, como Raghu e Rajendran (1993), para quem a regra do menor tempo de processamento é a mais eficiente, segundo o critério de peças em atraso. Conway *et al.* (1967), Panwalker e Iskander (1977) e Zhou *et al.* (2001), concluíram que a regra que prioriza as ordens que tem o maior tempo de

processo acumulado nos processos seguintes foi a que apresentou melhor resultado no critério de minimização de tempo de ciclo.

Diante dessa complexidade, várias abordagens têm sido propostas como alternativas de solução para resolver o problema da programação da produção.

2.5.2 Abordagens, modelos e métodos de solução: simulação, otimização e heurística

Ballou (1999), menciona três métodos de solução, a saber: métodos de simulação, métodos de otimização e busca heurística. Suas principais características serão sintetizadas a seguir:

Métodos de simulação

Simulação é a reprodução de um sistema, com seus processos dinâmicos, através da criação de um modelo que conduz a um melhor conhecimento da realidade. O procedimento inicial da simulação, após a construção do modelo, é a criação de cenários para um processo de seqüências sucessivas. Após análise e comparação dos resultados de repetidas passagens no modelo, permite encontrar a melhor alternativa. Embora não permita encontrar uma solução ótima, garante um ensaio adequado da operacionalização que corresponde à sua realidade empresarial e à viabilidade da solução. Segundo a VDI (1993), *apud* Hütter (2000), apresenta como vantagem a simplicidade da descrição do modelo, facilidade na interpretação dos resultados e possibilidade de reconstituição do processo para os envolvidos.

Terra e Pereira (2000) assinalam que é preciso construir, em computador, um modelo em que são definidos todos os parâmetros do ambiente que se deseja estudar, como por exemplo, a quantidade de máquinas e de operadores, os tipos de peças com respectivos roteiros de fabricação, os tempos de processamento das

peças nas máquinas e outros. O modo como as peças são selecionadas da fila de uma máquina particular é definido por meio de regras de prioridade. Após a definição de todos os parâmetros e atribuição das regras às máquinas, é simulada a passagem das peças pelo ambiente de produção. Ao final da simulação, são coletados valores de medidas de desempenho. Essas medidas, como por exemplo, o atraso das peças, o tempo gasto pelas peças em filas, são formas de avaliação do ambiente de produção. Entretanto, os valores das medidas obtidos podem não ser satisfatórios. Neste caso, são atribuídas novas regras de prioridade às máquinas, e simulada novamente a passagem das peças pelo ambiente de produção, num processo de tentativa e erro.

Modelos de otimização

Conforme Domschke (1998), baseiam-se em modelos matemáticos exatos para avaliação de alternativas que garantem descobrir uma melhor solução para o modelo a ser otimizado. Para Scofield (2002), os modelos matemáticos enfatizam a obtenção de resultados ótimos em função de algum parâmetro de desempenho. Este pode ser, por exemplo, a minimização dos tempos de produção ou a maximização do uso dos recursos. Dependendo da complexidade do problema tratado, pode consumir muito tempo para obter a solução ótima. Segundo Lachtermacher (2002), a área que estuda a otimização de recursos é denominada Programação Matemática, que, por ser uma área muito extensa, é subdividida em áreas menores. Dependendo do tipo das funções utilizadas nas funções-objetivo e restrições, como Programação Linear (Programação Matemática em que todas as funções-objetivo e restrições são representadas por funções lineares) e Programação Não-linear (Programação Matemática em que pelo menos uma das funções-objetivo são representadas por funções não-lineares).

Procura heurística

Hütter (2000) entende que a abordagem heurística é um método de decisão

simplificado, que procura antes uma solução satisfatória do que uma solução ótima. Consiste numa instrução metódica, que reduz o tempo para achar uma solução, e abrange regras ou procedimentos calculáveis, que limitam a quantidade de alternativas de solução. Estas regras se baseiam em analogia e simulações, num processo de tentativa-e-erro, que resulta em soluções aceitáveis do problema, para o qual não se dispõe de algoritmo de otimização. Esta abordagem também pode facilitar a definição de um modelo de simulação, ou aliviar bastante os custos de um modelo de otimização. Permite, ainda, uma avaliação da qualidade da solução. Scofield (2002) salienta que os modelos heurísticos são baseados em regras práticas (indutivas) de escalonamento que enfatizam a obtenção de “boas” soluções, próximas da solução ótima.

No Quadro II.5, adaptado de Hütter (2000), é apresentada uma síntese comparativa dos métodos de solução acima descritos.

Quadro II.5 – Síntese comparativa dos modelos de solução

Modelo	Métodos de simulação	Modelos de Otimização	Procura Heurística
Descrição	Procura por uma possível solução sub-ótima, porém aceitável	Procura uma solução matemática ótima	Geralmente processos baseados em procura por uma solução aceitável através de tentativa-e-erro quando não há outro método disponível
Vantagens (+) e Desvantagens (-)	<p>Simple e realista (+)</p> <p>Modelo descrito (+)</p> <p>Várias alternativas sub-ótimas para escolha (+/-)</p>	<p>Garante uma solução matemática ótima, com precisão conhecida (+)</p> <p>Dificuldade para descrição do modelo (-)</p> <p>Tempo de processamento elevado (-)</p> <p>Necessidade de grande armazenagem de dados (-)</p>	<p>Boa retratação da realidade (+)</p> <p>Várias alternativas para escolha (+)</p> <p>Relativamente rápido (+)</p> <p>Não requer a utilização de cálculos complexos (+)</p>

Fonte: Adaptado de Hütter (2000, p. 90)

Considerando que esta proposta de tese se propõe a desenvolver um modelo com métodos heurísticos para a programação da produção de fundições de mercado, serão apresentadas mais algumas informações sobre o significado do termo “*heurística*”, e “*métodos heurísticos*”.

A palavra heurística deriva do verbo grego *heuriskein*, que significa “achar” ou “descobrir”. Pörtl (2001) verificou que, historicamente, o seu entendimento vem passando por várias modificações. Cita Polya, que em 1957, no seu livro “*How to solve it?*”, utiliza métodos heurísticos para solucionar problemas, especialmente no âmbito da modelagem matemática. Menciona também Newell, Shaw e Simon, que em 1963 afirmaram “um processo que pode solucionar um problema existente, mas não garante uma solução ótima, é designado como uma heurística”. A partir de 1970, quando os sistemas baseados no conhecimento passaram a ganhar

importância, a heurística passou a ser considerada como um conjunto de regras, que os especialistas utilizavam para chegar a “boas” soluções. Atualmente, a heurística é conceituada como “técnicas, em geral, que melhoram o desempenho de métodos de solução de problemas”. Para Gündra *et al.* (2002), métodos heurísticos são algoritmos que não fornecem necessariamente uma solução ótima, mas permitem chegar, através de cálculos, a uma solução aceitável, dentro de um período de tempo razoável. Segundo Fiedler, Greistorfer e Voss (s.d.), em geral pode-se entender a heurística como um método de solução de problemas que permite achar soluções boas com custos aceitáveis.

Sauer (1997) comenta que a partir do início dos anos 80 vêm sendo introduzidos novas técnicas de modelagem e de solução de problemas, por meio de abordagens por inteligência artificial, para suportar a solução de problemas práticos de seqüenciamento. Essas técnicas são, como coloca Tubino (1997, p. 156), “heurísticas complexas, que procuram simular as decisões dos especialistas compondo técnicas de inteligência artificial, algoritmos genéticos e simulação”. Autores como Fiedler, Greistorfer e Voss (s.d.), referem-se a elas como “meta-heurísticas”, pois entendem que proporcionam uma estratégia superior, que geralmente orienta e modifica uma heurística simples aplicada a um problema específico, para a obtenção de uma solução melhor que esta heurística encontraria isoladamente.

Heizer e Render (2001) conceituam a inteligência artificial como uma disciplina que envolve a construção e a programação de computadores para imitarem os processos de raciocínio humano, e salientam que três tecnologias são fundamentais nesta disciplina: sistemas especialistas, lógica difusa (também conhecida como lógica nebulosa ou lógica *fuzzy*) e redes neurais. Da mesma forma, Carvalho (*apud* Terra e Pereira, 2000) aponta que redes neurais artificiais são técnicas computacionais, que juntamente com sistemas especialistas, algoritmos genéticos, lógica nebulosa e outras, constituem a inteligência artificial. Seu objetivo é simular algumas características de processos inteligentes por meio da aquisição de conhecimento por experiência. A seguir serão apresentadas algumas características dos principais métodos heurísticos e meta-heurísticos que constituem a inteligência artificial:

Redes neurais artificiais

Segundo Carvalho, Braga e Ludemir (2003), as redes neurais artificiais são modelos matemáticos que se assemelham às estruturas neurais biológicas e que têm capacidade computacional adquirida por meio do aprendizado e generalização. Há também procedimentos de utilização combinada de técnicas de simulação com a tecnologia de redes neurais artificiais, dando origem a modelos híbridos. Terra e Pereira (2000) apresentam uma solução de um modelo híbrido, em que o papel da rede neural artificial é aprender as relações entre as regras de prioridade designadas às máquinas e os valores das medidas de desempenho utilizados para avaliar as alternativas de programação.

Sistemas especialistas

Quando voltados para aplicações nos quais o conhecimento a ser manipulado está restrito a um domínio específico e com alto grau de especialização, os sistemas especialistas são denominados *Sistemas Baseados no Conhecimento* (SBCs), que, segundo Rezende (2003, p. 15), nada mais são do que “programas de computador que usam o conhecimento representado explicitamente para resolver problemas”. Pacheco (1999, p. 45), define sistema especialista como um “método heurístico e interativo que procura decidir qual a melhor seqüência a ser executada, dependendo das condições atuais da produção, [...] e que utiliza regras de modo a “imitar” as decisões tomadas por especialistas humanos”. Para O'Brien (2001, p. 268), “um sistema especialista é um sistema de informação baseado no conhecimento que utiliza seu conhecimento sobre uma área de aplicação específica e complexa para atuar como um consultor especializado para os usuários finais”, e seus componentes incluem uma base de conhecimento e recursos de *software*. A base de conhecimento contém fatos sobre uma área temática específica e uma heurística que expressa os procedimentos de raciocínio de um agente em relação ao assunto.

Morandim Jr. e Kato (2003) apresentam um modelo de planejamento de produção baseado em simulação e técnicas de inteligência artificial (sistemas especialistas e lógica *fuzzy*), conforme demonstram as figuras III.12 (Configuração básica do modelo de planejamento de produção baseado em simulação) e III.13 (Sistema de planejamento de produção baseado em simulação – detalhes internos).

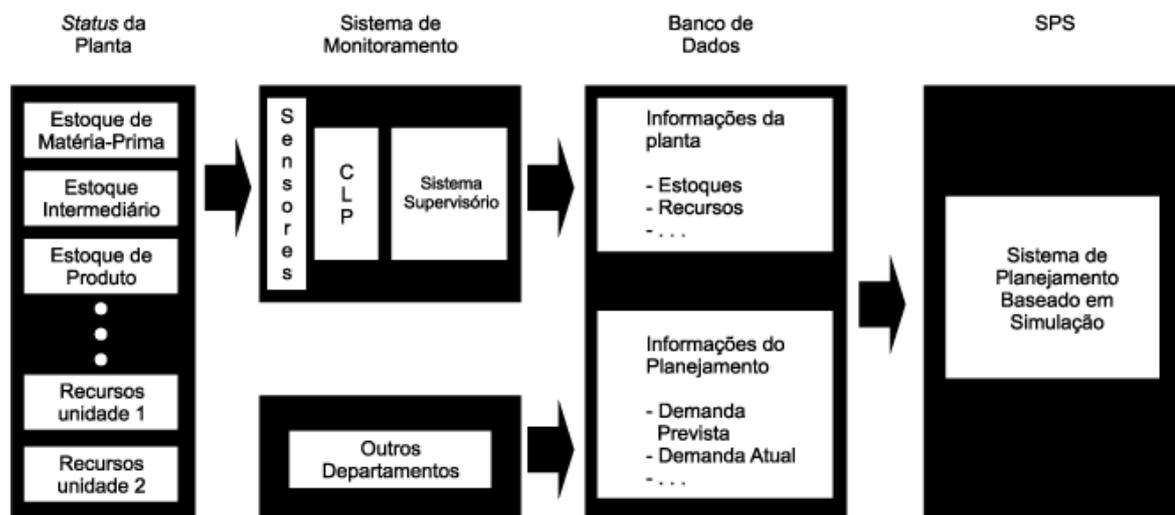


Figura II.12 - Configuração básica do modelo de planejamento de produção baseado em simulação

Fonte: Morandim Jr. e Kato (2003, p. 426)

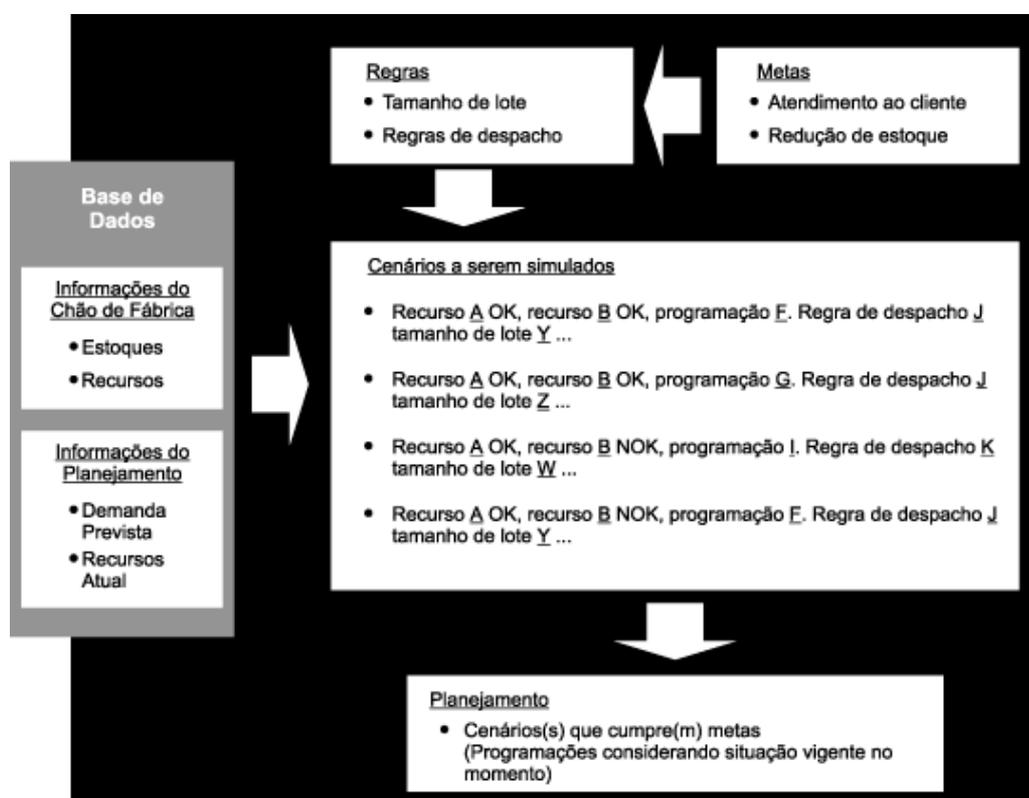


Figura II.13 - Sistema de planejamento de produção baseado em simulação – detalhes internos

Fonte: Morandim Jr. e Kato (2003, p. 427)

Lógica difusa (*fuzzy*)

A lógica difusa, explicam Heizer e Render (*op.cit.*), permite trabalhar com valores aproximados, influências e dados incompletos ou ambíguos para tomar decisões. A capacidade de classificar de modo impreciso as variáveis de um problema, em termos de conceitos qualitativos, em vez de quantitativos, traduz a idéia de uma variável lingüística, asseveram Almeida e Evsukoff (2003). Uma variável lingüística é definida como uma entidade utilizada para representar de modo impreciso e, portanto, lingüístico, um conceito ou uma variável de um determinado problema, admitindo como valores apenas expressões lingüísticas, como “frio”, “muito grande”, “aproximadamente alto” etc. O processo de representação *fuzzy* de conhecimento depende fundamentalmente deste conceito. Guimarães e Ortêncio (1998) salientam que, apesar do significado que seu nome indica (difusa, vaga), é uma subdisciplina da matemática muito precisa.

O'Brien (2001) observa que os sistemas de lógica difusa conseguem resolver problemas não estruturados com conhecimento incompleto mediante o desenvolvimento de inferências e respostas aproximadas, como fazem os seres humanos. Estes autores afirmam ainda que o formalismo matemático da lógica difusa permite a representação de algumas características do raciocínio humano sendo, portanto, aplicada no desenvolvimento de sistemas especialistas, e utilizada, por exemplo, na busca de um melhor planejamento de produção em ambientes industriais.

As bases da lógica difusa, segundo Bonventi Jr. (1998), foram inicialmente propostas na década de 20 pelo matemático Lukaciewicz, e aperfeiçoadas em 1965 por Lotfi Zadeh, professor de Berkeley, que as aplicou em sistemas de controle, dando início assim às aplicações em ambiente industrial. Conforme Nobre (2000), Zadeh fundamentou matematicamente a lógica difusa na teoria dos conjuntos nebulosos (*fuzzy sets*) que são conjuntos caracterizados por funções de pertinência em que seus elementos podem assumir valores intermediários entre o par binário 0 e 1 [0,1]. Grande parte de seu potencial foi descoberto pelos japoneses a partir dos anos 80, assinala ainda Nobre.

Nobre (*op. cit.*) expõe que o projeto e desenvolvimento de um sistema com a lógica difusa pode ser resumido em três etapas. O primeiro passo consiste em

descrever o sistema por um conjunto de regras lingüísticas ou frases de declarações do tipo se – então acrescentados dos conectivos lógicos and e or. As variáveis do sistema são definidos como variáveis lingüísticas e assumem valores lingüísticos ou palavras, não se restringindo a um valor numérico. Nobre apresenta como exemplo um sistema financeiro de gerência de mercado com as seguintes variáveis lingüísticas: *inflação anual*, *taxa de consumo* e *preço*, que podem assumir valores como: *baixa*, *moderada* e *alta*. As regras podem então ser assim definidas:

-se inflação é baixa and taxa de consumo é moderada então preço é alto

or

-se inflação é moderada and taxa de consumo é baixa então preço é baixo.

Este tipo de declaração, conforme Almeida e Evsukoff (2003) foi proposto na década de 70 por Mamdani, sendo conhecido como modelo de Mamdani, também chamado de inferência Max-Min, por utilizar as operações de união e de intersecção entre conjuntos por meio de operadores de máximo e de mínimo. Na década de 80, Takagi e Sugeno e Sugeno e Kang apresentaram uma estrutura de inferência também baseada na teoria de conjuntos *fuzzy* similar ao modelo de Mamdani, porém com sintaxe da base de conhecimento diferente. Os consequentes das regras, em vez de serem formados por relações *fuzzy*, compõem-se de equações paramétricas relacionadas às entradas e às saídas do processo. Este modelo é conhecido como modelo de Takagi-Sugeno-Kang.

Após utilizar o conhecimento de especialistas para definir o conjunto de regras que irá compor a base do sistema, inicia-se o segundo passo, que consiste em definir as funções de pertinência que devem caracterizar quantitativamente os valores das variáveis lingüísticas. A Figura II.14 demonstra a caracterização da variável inflação, para o exemplo citado por Nobre (2000), podendo-se observar que uma inflação de 5% pertence ao conjunto de valores lingüísticos *baixa* e *moderada*.

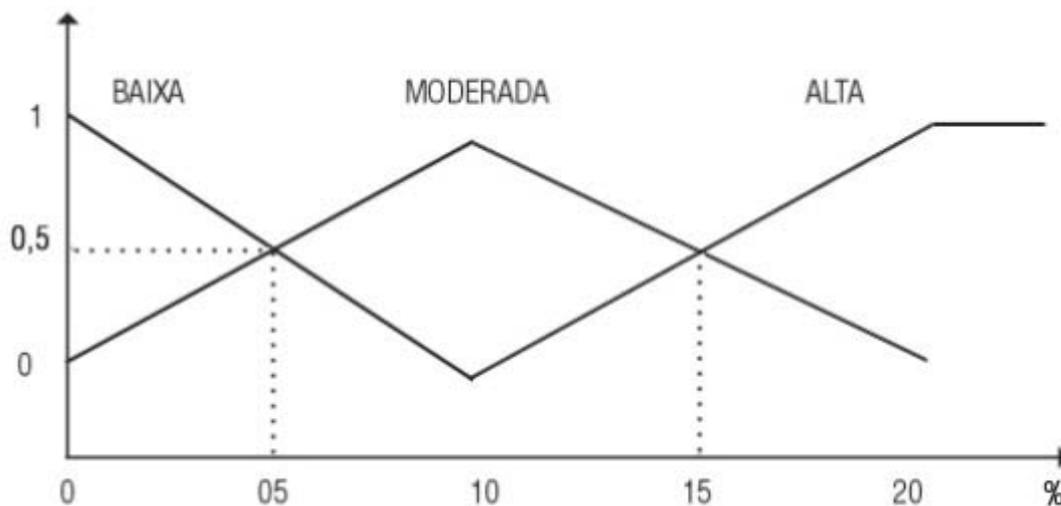


Figura II.14 - Funções de pertinência da variável inflação
 Fonte: Nobre (2000, p. 266)

O terceiro e último passo consiste em definir o mecanismo de inferência para manipulação das regras e para a tomada de decisões, requerendo-se também a definição das interfaces de entrada e saída do sistema que utiliza a lógica *fuzzy*. A interface de entrada tem a função de mapear as informações numéricas do ambiente para valores caracterizados por funções de pertinência, transformando informações quantitativas em qualitativas (*fuzzyfication*). A interface de saída executa o mapeamento inverso à entrada (*defuzzyfication*), transformando informações qualitativas em quantitativas, quando convertida em valor escalar proporcional, ou transformando informações qualitativas em qualitativas para serem utilizadas diretamente em diagnóstico qualitativo de tomada de decisão. A estrutura básica de um sistema fuzzy logic está demonstrada na figura II.15.

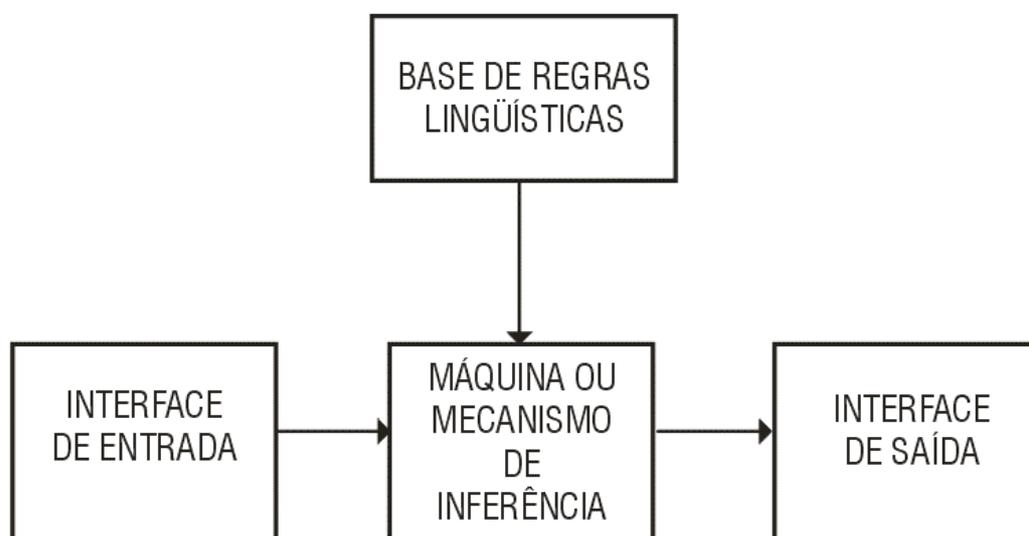


Figura II.15 - Configuração básica da estrutura de um sistema *fuzzy logic*
Fonte: Nobre (2000, p. 267)

Computação evolutiva

De acordo com Back (1996), a computação evolutiva trata de sistemas, também chamados de algoritmos evolutivos, para a resolução de problemas que utilizam modelos computacionais, baseados na teoria da evolução natural. Dividem-se em três grandes agrupamentos:

- Algoritmos genéticos;
- Estratégias de evolução;
- Programação genética.

Conforme relatam Carvalho, Braga e Ludermir (2003), a categoria dos algoritmos genéticos é a mais encontrada em aplicações de engenharia. Consistem em programas evolutivos baseados na teoria da seleção natural e na hereditariedade, ou seja, partem do pressuposto que, em uma determinada população, indivíduos com boas características genéticas têm maiores chances de sobrevivência e de produzirem indivíduos cada vez mais aptos. Assim, algoritmos

genéticos favorecem a combinação dos indivíduos mais aptos, ou seja, os candidatos mais promissores para a solução de um dado problema. A área de maior interesse, salientam Beasley, Bull e Martin (1993), é aquela que envolve problemas de difícil otimização pelas técnicas convencionais. Quando uma técnica convencional puder ser usada, ela geralmente é mais rápida e precisa que os algoritmos genéticos, que são também utilizados para a otimização dos parâmetros de redes neurais artificiais.

2.6 O PCP na Indústria de Fundição

Neste tópico será apresentada inicialmente uma visão geral do processo de fundição. Na seqüência, relatam-se informações vinculadas ao sistema de PCP encontrado neste tipo de indústria.

2.6.1 O processo de fundição

Fundição é um processo milenar de dar forma a metais que, quando submetidos à temperaturas crescentes, passam do estado sólido para o líquido. A medida que a temperatura regride, há um retorno ao estado sólido, com aquisição da forma do receptáculo (este receptáculo é conhecido como molde, geralmente de areia “verde”, isto é, aglomerada com argila e água) onde ocorre a solidificação. Os moldes que formam as partes ocas das peças são chamados “machos”. Na figura II.16 apresenta-se, a título de ilustração, a vista de um corte transversal de um típico molde de fundição.

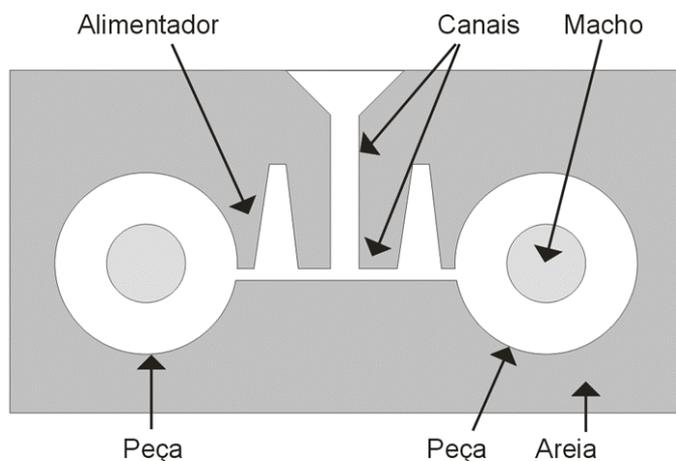


Figura II.16 - Vista transversal de um molde de fundição
 Fonte: Adaptado de Siegel (1963)

Como se observa na figura, neste molde serão obtidas duas peças, e parte do metal líquido despejado no molde ficará em forma de canais e alimentadores (também chamados massalotes), que posteriormente são removidos e irão incorporar a matéria-prima para nova fusão. A relação peso de peças com o peso total de metal que é despejado no molde é conhecida como *rendimento metalúrgico*. O conjunto de peças mais canais mais alimentadores denomina-se *árvore*.

O processo de fundição, portanto, compõe-se de vários sub-processos para obter uma peça fundida dentro das especificações requeridas. Consistem em fabricar moldes (“moldagem”); preparar e fundir metais (“fusão”); despejar o metal dentro do molde (“vazamento”); retirar as peças dos moldes (“desmoldagem”); remover a areia (“limpeza”); recuperar a areia utilizada para reutilização; remover os canais e alimentadores das peças (“quebra ou corte de canais”); e promover o acabamento (“rebarbação”). Os machos normalmente são de areia aglomerada com resina, fabricados antecipadamente, por processos diversos, conhecidos genericamente como “macharia”, que podem ser a quente ou a frio, e mantidos em estoque. As peças acabadas podem ser expedidas diretamente para os clientes, ou serem encaminhadas para outros processos de acabamento mecânico, como usinagem, fresagem etc. De acordo com Siegel (1963, p. 2.32), “o processo de fundição proporciona o caminho mais curto entre a matéria-prima e a peça acabada”. Na Figura II.17, a seguir, são apresentadas os principais processos de uma fundição.

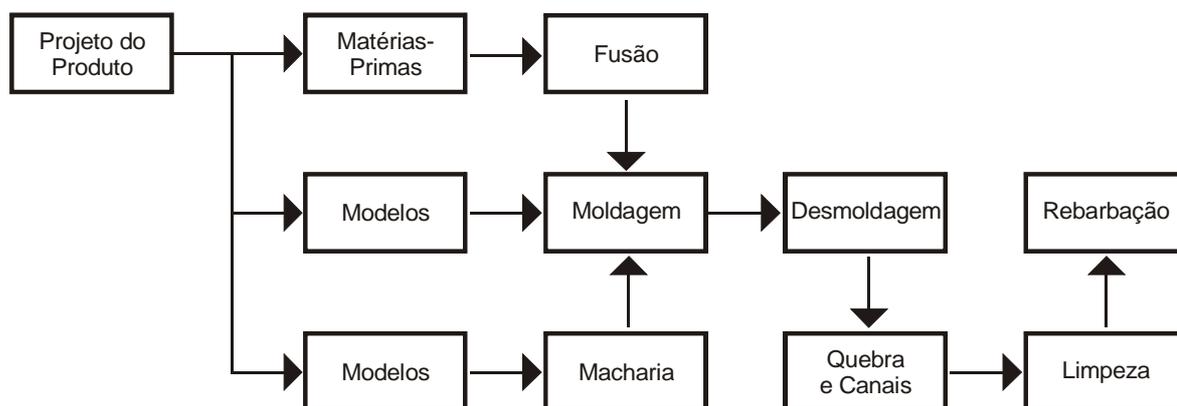


Figura II.17 - Principais processos de uma fundição
 Fonte: Adaptado de Vianna e Arenales (1995)

Conforme descrevem Vianna e Arenales (op.cit.) e Siegel (1963), os equipamentos de uma fundição consistem basicamente em fornos de fusão (que podem ser elétricos, a carvão coque ou óleo combustível), conjuntos de máquinas de moldagem (que podem formar centros de trabalho, geralmente conhecidos como “linhas de moldagem”), um conjunto de máquinas de preparação de areia, equipamentos de desmoldagem, quebra ou corte de canais, limpeza e rebarbação. Os machos são produzidas em máquinas de machos, rebarbados, estocados e depositados nos moldes antes do vazamento do metal. Há casos onde a geometria do fundido requer montagem de vários machos, formando um sub-conjunto (“pacote”) que pode ser colocado inteiro no molde. Os tempos de *set-up* na macharia freqüentemente são dependentes da seqüência, tendo o tamanho do modelo (chamado de “caixa de macho”) como fator de seqüenciação. A retirada das peças do molde (desmoldagem) é feita em peneiras vibratórias, e a remoção de canais é feita por meios de percussão ou corte. Estes canais são incorporados ao estoque de matéria-prima e refundidos. Na limpeza, são utilizadas máquinas de jato de granalha, e na rebarbação, esmeris e outros equipamentos de desbaste e acabamento mecânico, que podem eventualmente estar agrupados em células de trabalho. Guesser (2001) salienta que a tendência que se observa nas fundições é a criação, na macharia, de células para a formação de “pacotes” de machos, e um fluxo contínuo da moldagem à expedição. Os fundidos podem ou não sofrer ainda operações de tratamento térmico, em fornos próprios existentes na fundição, ou de

terceiros.

Os fornos de fusão são abastecidos por matérias-primas (sucatas, canais e alimentadores, lingotes de fundidos, minérios e inoculantes) e possuem uma determinada capacidade de produção, normalmente medida em toneladas por hora. Pode variar durante uma jornada de trabalho, no caso de fornos elétricos, dependendo da energia disponível. Cada forno pode produzir um tipo de “liga” de cada vez. “Liga” é a denominação atribuída à uma específica classe de metal, estabelecida em função das propriedades tecnológicas desejadas nas peças acabadas, normalmente determinadas pela sua composição química. Produzida no forno, é transportada em panelões revestidos com material refratário para ser vazada nos moldes. Os moldes, por sua vez, são produtos de máquinas de moldagem, que têm capacidades de produção, geralmente medidas em moldes por hora. Estas máquinas trabalham parte do tempo produzindo moldes para um tipo de peça e, parte do tempo, produzindo para outros tipos. É importante salientar que, embora as máquinas de moldagem possam ser reparamentadas com frequência para a produção de diferentes tipos de moldes, a mudança do tipo liga produzida pelo forno geralmente é efetuada em períodos mais longos. Os tempos de *set-up* dos fornos podem ser muito demorados, gerando muita perda de energia e produtividade, além de serem dependentes da sequência. Portanto, as mudanças na programação dos moldes estão restritas às peças que utilizam, naquele momento, a mesma liga metálica. Cabe aqui mencionar que os custos de energia em uma fundição são muito altos, como salientado pela revista *Modern Casting* (2003), que considera os aspectos energéticos como altamente restritivos, não só pelo custo em si, mas também pelas limitações de seu uso. A literatura apresenta vários estudos para redução de consumo de energia nas fundições, como os de Sampaio e Rocha (1995), que apresentam uma série de procedimentos de racionalização, destacando a programação das “corridas” (campanhas de um mesmo tipo de liga nos fornos de fusão) e a sua estreita sincronia com a moldagem.

Um modelo esquemático do *lay-out* básico de uma fundição típica é apresentado na figura II.18.



Figura II.18 - *Lay-out* esquemático de uma fundição
 Fonte: Adaptado de Vianna e Arenales (1995)

2.6.2 O planejamento e a programação da produção em fundições

O planejamento e a programação da produção desempenham um papel fundamental na gestão de uma fundição, como observam Southall e Law (1980), para quem a satisfação do cliente depende de uma eficiente atuação nesta área. Scrimshire (1986) aponta as vantagens da aplicação do conceito CIM para a programação da produção na indústria de fundição, em decorrência do surgimento de gargalos ao longo do processo. Eles podem variar em função do *mix* da carteira de pedidos, requerendo uma cuidadosa análise da carga dos centros de trabalho, para que a produção possa evoluir satisfatoriamente. Informações constantemente atualizadas devem ser consideradas a respeito das seguintes variáveis:

- pedidos de clientes (programados e inesperados);
- reposição de devoluções de clientes;
- reposição de estoques;
- produtos em processo;
- *lead-times*;

- refugos;
- capacidade de equipamentos;
- capacidade de mão-de-obra.

Fernandes e Leite (2002) detectaram, em pesquisa realizada com fundições de mercado localizadas no interior do Estado de São Paulo, que a importância do planejamento e da programação numa fundição continua mostrando-se muito relevante. Isso se deve a fatores como redução de refugos, melhor cumprimento de prazos, priorização de itens para faturamento, maximização do volume de produção por meio da melhor utilização dos equipamentos, e redução do consumo de energia.

A revista *Cast Metals Times* (2001) apresenta um artigo onde relata as vantagens de um modelo de planejamento e da produção. A partir de necessidades geradas pelo MRP (que isoladamente não atendia aos requisitos da fundição), é identificada a seqüência dos diferentes tipos de ligas que devem ser programados na fundição. Como a fusão e a moldagem são operações sincronizadas, também é identificada a seqüência dos tipos de peças para cada liga. Este procedimento permitiu um significativo aumento de produção, pela melhor utilização da capacidade disponível dos recursos.

Scrimshire, Law e Dalmer (1984) assinalam que, para ser efetivo, um sistema de planejamento e controle de produção numa fundição deve cobrir todas as etapas de sua operação, como o processamento e análise dos pedidos dos clientes, programação da produção de moldes e machos, controle dos produtos em processo e fornecimento de relatórios gerenciais adequados. Para estes autores, as principais dificuldades encontradas para a implantação do sistema estão ligadas à cinco fatores:

- impossibilidade de manter um programa-mestre da produção firme, devido às contínuas mudanças de demanda dos clientes, retrabalhos e atrasos;
- capacidade variável de produção dos centros de trabalho, devido à paradas, absenteísmo e mudanças no *mix* de produtos;
- tradição de dar importância somente ao programa da fusão e das máquinas de moldagem, que não permite identificar corretamente gargalos que freqüentemente surgem na macharia, ou na rebarbação, ou no tratamento térmico;

- inadequado controle de produção e falta de acuracidade nas informações dos produtos em processo;
- falta de informações referentes ao tempo padrão das operações individuais para cada produto.

Deve ser considerada ainda a “forma” da estrutura de produto, que está intimamente relacionada ao seu projeto. A estrutura de uma peça fundida possui a forma de “T”, que é, segundo Slack, Chambers e Johnston (2002, p. 461), “típica de empresas que têm pequeno número de matérias primas e um processo relativamente padronizado, mas produzem grande variedade de produtos finais altamente personalizados”. Estes autores salientam ainda que há dificuldades no gerenciamento da produção neste tipo de indústria, relacionadas principalmente à necessidade de adotar estilos diferentes de gestão, pois a parte da operação que trabalha com alto volume e baixa variedade visa à redução de custos e à alta utilização dos equipamentos. Enquanto isso, a parte que trabalha com alta variedade e personalização visa à velocidade de entrega e ao desempenho de serviço. Cox III e Spencer (2002), semelhantemente, indicam que as características da estrutura tipo “T” geram problemas gerenciais e têm implicações significativas para os sistemas de planejamento e controle.

Os sistemas de planejamento e programação da produção para fundições precisam, portanto, estar adequados para esse tipo de indústria, isto é, precisam considerar suas características. Laney (1982) aponta alguns aspectos específicos dos processos de fundição, que os diferenciam de processos de outras indústrias e que os tornam únicos:

- os materiais que são fundidos e vazados (despejados) num molde não são requisitados para uma ordem específica e, portanto, a ordem de compra não pode ser atribuída a um determinado cliente;
- quando um molde é vazado, a mão-de-obra e os encargos para a fusão, vazamento e desmoldagem, igualmente não podem ser atribuídos a uma ordem específica;
- o rendimento metalúrgico é fator determinante para a determinação da demanda de metal líquido, além de ser um elemento fundamental para o cálculo de custo;

- os tempos de resfriamento devem ser considerados no *lead-time* de produção;
- se houver tratamento térmico presente, podem ser requeridos procedimentos específicos para cálculo da carga-máquina e do custo, quando diferentes ordens são processadas simultaneamente.

O objetivo da programação numa fundição, de acordo com Law (1989), é carregar os centros de trabalho-chave com os pedidos dos clientes, com a máxima utilização da capacidade disponível, e ao mesmo tempo procurando satisfazer as datas de entrega compromissadas. Como estes objetivos são conflitantes, uma solução ideal raramente é possível. Law propõe um modelo de programação para uma fundição, cujos procedimentos são relatados a seguir. O passo inicial de um sistema de planejamento e programação consiste em determinar a carga nos centros de trabalho, a partir das necessidades líquidas para atender a carteira de pedidos. Este cálculo é normalmente feito em duas etapas:

1^a.etapa: Necessidades brutas

Necessidades brutas = Pedidos de clientes + Reposições de devoluções + Amostras e itens de assistência técnica + Reposição de estoques

2^a. etapa: Necessidades Líquidas

Necessidades líquidas = Necessidades brutas + Acréscimos para compensar refugos – Quantidades já produzidas (produtos em processo)

Uma vez determinadas as necessidades líquidas dos produtos a serem produzidos, é calculada (dividindo-se a quantidade de peças de cada tipo pelo respectivo número de modelos por molde) a quantidade de moldes necessários em cada máquina (ou linha) de moldagem. Subtraindo-se o *lead-time* das datas de entrega, chega-se ao período (normalmente semanal) onde estes moldes deverão ser produzidos. Aplicando-se o rendimento metalúrgico para cada peça a ser fabricada, determina-se, para estes mesmos períodos, a quantidade de cada tipo de liga que deve ser fundida nos fornos. Também a partir das peças, com aplicação dos respectivos *lead-times*, podem ser determinadas as quantidades requeridas de machos, e o número de ciclos das máquinas para sua fabricação. A carga de trabalho é identificada para cada centro de trabalho, e comparada com a capacidade disponível, permitindo fazer os ajustes necessários quando da existência de gargalos.

Nyamekye e An (1996) recomendam a adoção de um modelo híbrido

MRP/*Kanban* para uma fundição que utiliza moldes permanentes, com utilização do MRP para os níveis mais altos de planejamento, e do *kanban* para sincronizar o fluxo de materiais entre as células. Salientam, entretanto, que este modelo funciona bem para ambientes de manufatura repetitiva. Propõem, ainda, um esforço significativo para reduzir ou eliminar o *set-up*, por meio do uso de técnicas específicas e dispositivos de troca rápida, para permitir a redução do tamanho dos lotes de produção.

Barcellos *et al.* (2001) descrevem a implantação de um sistema de PCP numa fundição de aço, cujo objetivo principal é otimizar o uso da capacidade através de um adequado dimensionamento e seqüenciamento dos lote de fabricação, de forma a minimizar a quantidade de *set-ups*.

Silva e Morabito (2004) fazem o relato de um trabalho que apresenta uma abordagem heurística combinada com o clássico problema da mochila, que consiste em otimizar o aproveitamento do volume útil de uma unidade maior com uma adequada combinação de unidades menores. Esta abordagem se baseia nos problemas de corte e empacotamento, e o problema envolve cortar (ou empacotar) unidades pequenas (peças a serem fundidas) em unidades grandes (fornos), de maneira a otimizar o aproveitamento. O objetivo é otimizar a programação da produção em uma fundição de mercado de aço-inox, de pequeno porte, cuja moldagem é manual. O setor de moldagem é considerado como fornecedor da fusão. O seqüenciamento da construção dos moldes pode ser feito pelo tamanho das peças (peças pequenas são mais demoradas e mais difíceis para moldar), pelas ligas das peças (há uma sensível diferença para maior na margem de lucro de ligas especiais), pelos prazos de entrega e pelos clientes preferenciais. Procurou-se maximizar o peso total da peças produzidas, conseqüentemente, maximizar a produtividade dos fornos. Os resultados verificados em duas semanas de operação foram melhores que os obtidos pela fábrica, pois toda carteira de pedidos foi produzida com um dia a menos de produção (redução de 20 %).

2.7 Marco Teórico

Dentre a tipologia apresentada para classificar os sistemas de produção, as fundições de mercado que produzem, sob pedido, produtos especificados por terceiros, caracterizam-se como sistemas de produção de produtos sob medida, cujos processos se apresentam de forma híbrida. A fusão é considerada um processo semi-contínuo, ou repetitivo em massa, que possui pouca flexibilidade, enquanto que as demais fases se enquadram no tipo de processo repetitivo em lotes, do tipo *flow-shop*, que é um caso particular de *job-shop*.

A estrutura das peças fundidas é típica de empresas que têm pequeno número de matérias primas e um processo relativamente padronizado, mas produzem grande variedade de produtos finais altamente personalizados. Neste tipo de ambiente, conforme salientado por alguns autores, além de implicações significativas nos sistemas de planejamento e controle, há dificuldades no gerenciamento de produção face à necessidade de adotar estilos de gestão diferenciados. Na fusão, que opera com alto volume e baixa variedade, busca-se uma alta utilização e custos baixos (principalmente no consumo de energia), enquanto que nas outras etapas a prioridade é a rapidez e o cumprimento dos prazos de entrega dos pedidos. De modo geral, a programação da produção em fundições apresenta a tendência de otimizar o uso da capacidade das instalações e da mão-de-obra em detrimento às datas de entrega para os clientes.

Existem duas decisões importantes e interligadas para o dimensionamento de lotes e programação da produção numa fundição: a programação do forno (operação de fusão), quando se deve decidir o tipo de liga a ser produzida em cada período de tempo, e a programação das máquinas de moldagem, que especifica quais e quantos itens serão produzidos a cada período.

Um aspecto que também deve ser considerado na programação da produção diz respeito ao modo de inter-relacionamento entre os sub-processos da fundição. As operações pós-fusão (desmoldagem, remoção de canais, limpeza e rebarbação) têm uma relação “em série” com as máquinas de moldagem, enquanto que operações pré-fusão, como a fabricação de machos e a preparação da carga para a liga têm uma relação “paralela” com as máquinas de moldagem. Conseqüentemente, a seqüência ótima para a fusão e a moldagem não

necessariamente será a mais adequada para os estágios pré- e pós-fusão, ou seja, as condições de otimização para os diferentes estágios, independente do critério adotado, são diferentes. Este fator é ainda agravado em função de, na fusão, os tempos de *set-up* serem altamente dependentes da seqüência, semelhante ao que acontece na macharia.

O *mix* de produtos pode provocar significativas mudanças na carga dos recursos (por exemplo, peças leves versus peças pesadas, peças com macho versus peças sem macho), fazendo com que os gargalos não sejam fixos. O *lead-time*, em decorrência desse aspecto, e também devido aos *set-ups* dependentes, não é fixo e nem conhecido previamente. Tudo isto requer uma análise constante e detalhada da capacidade e uma revisão dos tempos de processamento, com geração de um programa para todos processos da fundição: fusão, moldagem, macharia e acabamento.

As características *flow-shop* das fundições permitem a utilização de regras heurísticas simples de seqüenciamento e matriz de *set-up*, entretanto, o balanceamento da fusão com a moldagem, cujas operações são sincronizadas, podem requerer a utilização de heurísticas mais complexas, como a lógica *fuzzy*.

Diante do exposto, a estruturação e o funcionamento de um modelo heurístico para a programação da produção em fundições, objetivo deste trabalho, deve atender as funções requeridas por um sistema de PCP que respeite as características e as necessidades deste ambiente industrial. As suas funções estão baseadas no modelo genérico de PCP de Fandel, François e Gubitz (1994, p.2), e são compatíveis com a estruturação das funções organizacionais de planejamento e logística do sistema CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). (SCHEER, 1993 e COSTA E CAULLIRAUX, 1995), conforme se observa na Figura II.19.

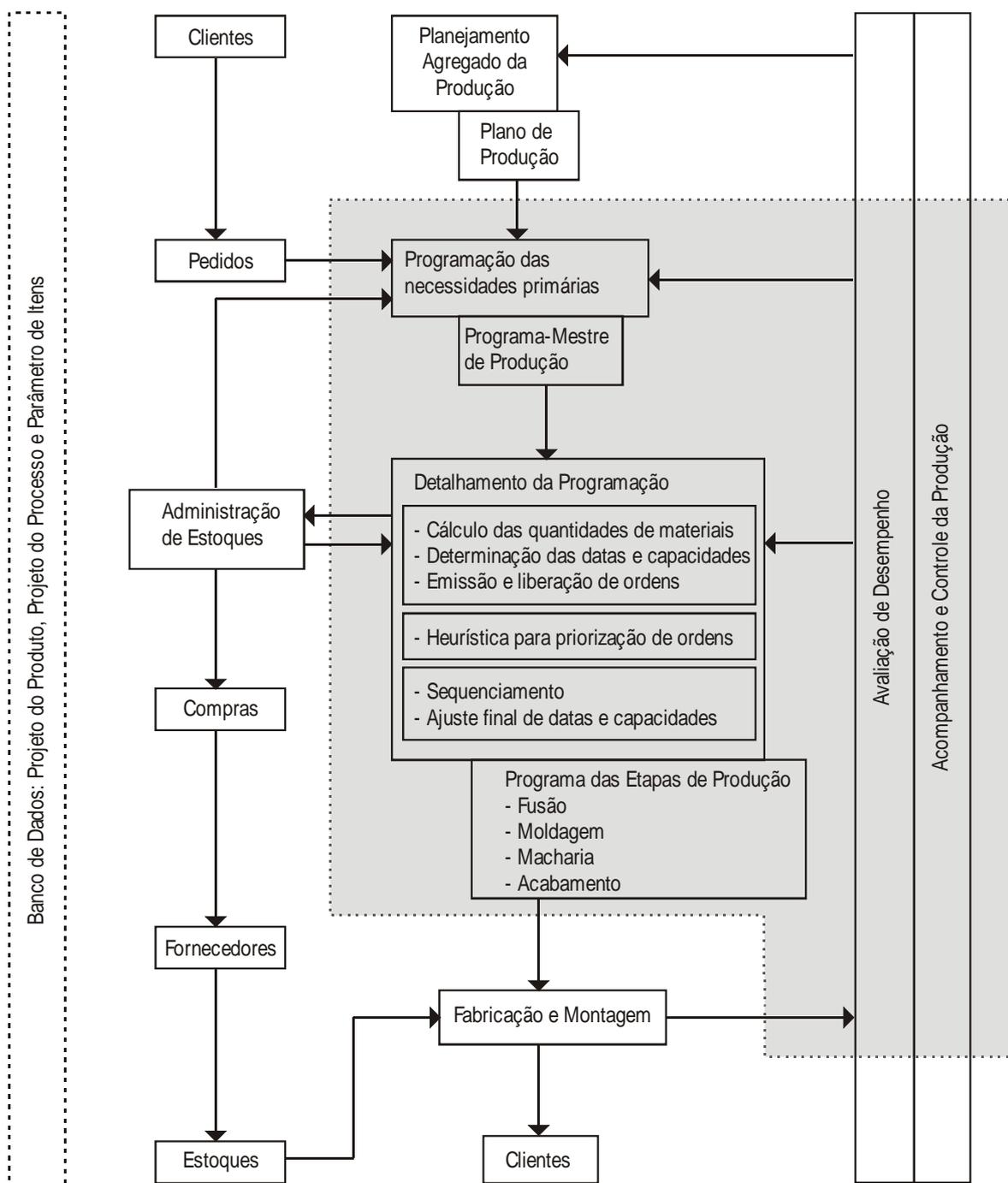


Figura II.19 - Modelo básico da estrutura do sistema proposto para a programação e controle da produção de fundições
 Fonte: Adaptado de Fandel, François e Gubitz (1994, p.2)

Este sistema tem mais de uma lógica básica, pois utiliza o princípio de “empurrar” a produção (cálculo de recursos – técnica do MRP), considerando, porém a capacidade finita, e orientada pelos gargalos (técnica OPT). Poderá ser usado isoladamente, ou integrado a um sistema maior, utilizando a base de dados

disponível.

O modelo heurístico pode ser estruturado de acordo com a lógica *fuzzy* para representar o processo de decisão e as práticas adotadas pelos fundidores no PCP. Esse processo e essas práticas, alvo da investigação deste estudo, foram observados com base na revisão de literatura efetuada. Infere-se que alguns aspectos, arrolados a seguir, poderão ser contemplados ou incorporados no sistema, se confirmados após realização da pesquisa:

- horizonte de tempo firme e horizonte de tempo flexível para cada intervalo de planejamento;
- matriz de recursos, indicando o perfil de utilização da capacidade em cada centro de trabalho;
- regras heurísticas dinâmicas e globais;
- *set-ups* dependentes de seqüência (matriz de *set-up*);
- políticas de lote mínimo;
- seqüenciamento das ordens de produção que proporcione um adequado balanceamento da fusão (oferta de liga) com a moldagem (consumo de liga), e respeite as restrições de energia, com o uso da lógica difusa (*fuzzy*);

A teoria mostra a possibilidade de o modelo proposto se alicerçar em vários princípios: na estrutura hierárquica baseada em Fandel, François e Gubitz (*op. cit.*), na lógica de “empurrar” a produção, na capacidade finita, na heurística e na lógica difusa (*fuzzy*).

A heurística é considerada um meio para solucionar um problema existente, mas que não garante uma solução ótima. A abordagem heurística é adequada para a programação da produção em ambientes complexos, diversificados e dinâmicos, como é o caso do processo de fundições de mercado, pois reduz a dimensão do problema e permite obter soluções de boa qualidade num tempo razoável. Abrange regras e procedimentos que limitam a quantidade de alternativas de solução obtidas através de simulação pelo método de tentativa-e-erro.

Algumas técnicas computacionais procuram imitar os processos de raciocínio humano, como a lógica difusa ou nebulosa (*fuzzy*), os sistemas especialistas e as redes neurais. Compõem a assim chamada “inteligência artificial” e são consideradas heurísticas complexas porque procuram simular o padrão de decisões dos especialistas em determinada atividade.

A lógica difusa utiliza conceitos qualitativos para classificar de modo impreciso as variáveis de um problema, permitindo utilizar valores aproximados e dados incompletos ou ambíguos para tomar decisões. No caso das fundições, permite elaborar regras lingüísticas e mecanismos de inferência para representar o processo de decisão utilizado pelos programadores de produção para equilibrar a demanda de metal líquido pela moldagem, com a composição de um *mix* adequado de ordens de produção que está simultaneamente em produção.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Caracterização da pesquisa

Considerando-se a finalidade deste trabalho, este estudo classifica-se como exploratório, descritivo, de desenvolvimento de uma tecnologia e avaliativo.

Segundo Tripodi, Fellin e Meyer (1975), nos estudos exploratórios, os objetivos principais da investigação são desenvolver, esclarecer, modificar e refinar conceitos e idéias para a formulação de abordagens mais apropriadas com o desenvolvimento de estudos posteriores. A pesquisa exploratória permite ao investigador familiarizar-se e aumentar sua experiência em torno de determinado problema (TRIVIÑOS, 1987) e, por essa razão, constitui a primeira etapa do presente estudo; é do tipo descritivo porque deseja retratar a realidade com “exatidão” (TRIVIÑOS, *op. cit.*), sem se preocupar com sua modificação; é também avaliativa na medida em que procura examinar padrões e relacionamentos entre variáveis (BRYMAN, 1989), para a formulação do modelo heurístico que irá incorporar a ferramenta para o PCP das fundições.

Além disso, esta pesquisa caracteriza-se pela dimensão do que é e do que *deve ser*. A dimensão do *é* apresenta, em sua essencialidade, a precisão e a objetividade. Na fase exploratória e descritiva, parte-se dos argumentos, conclusões e interpretações da realidade objetiva e não da subjetividade do autor. A dimensão subjetiva (do *deve ser*) apresenta como ponto principal a criatividade do pesquisador, notadamente quando ele procura estabelecer as etapas e as hipóteses que devem ser consideradas na construção do modelo heurístico para a programação da produção em fundições de mercado.

Sob o ponto de vista de sua perspectiva, a pesquisa é sincrônica porque por meio dela pretende-se identificar as etapas que devem ser levadas em conta para o desenvolvimento do modelo heurístico para o PCP, num dado momento no tempo, sem considerar a sua evolução cronológica.

Em função dessa perspectiva, e dada a finalidade da pesquisa, o método científico utilizado foi o indutivo, que, segundo Richardson (1999, p. 35) “é um processo pelo qual, partindo de dados ou observações particulares constatadas,

pode-se chegar a proposições gerais”. Nesse método, a abordagem vai do específico para o geral.

O modo de investigação sobre o qual se alicerça o presente estudo é o multicaso. O interesse dos estudos multicasos, segundo Mafra (1999), reside na ultrapassagem da unicidade e na evidenciação de regularidades ou de constantes entre várias organizações, cujas semelhanças e dessemelhanças são analisadas.

O estudo multicaso apresenta-se como o mais indicado, levando-se em conta o objetivo do presente trabalho, pois permite ainda, conforme Mafra (*op. cit.*), a partir de um determinado número de casos, teorizar a respeito de uma situação específica. Emprega uma linguagem de conceitos e categorias para apreender os fatos, de natureza qualitativa e quantitativa, que contribui para a elaboração de tipologias pelo fato de estar estreitamente ligada aos resultados da pesquisa empírica e às exigências da teoria.

Além do estudo multicaso, que compreende uma pesquisa de campo em locais onde existe a ocorrência da problemática em análise, foi feita a revisão da literatura disponível no campo do conhecimento relacionado com esse tema. Esse levantamento bibliográfico forneceu o referencial para todas as atividades desenvolvidas, inclusive à própria pesquisa de campo.

3.2 População

A população deste estudo é constituída por quatro fundições que apresentam processos com as características de fundição *flow-shop*. Todas são tradicionais, com expressiva participação no exigente mercado externo, e possuem avançada tecnologia de fabricação, com seus processos certificados por organismos internacionais de qualidade. Duas delas pertencem à maior empresa independente da América Latina no segmento, cuja capacidade produtiva total representa aproximadamente 15% da produção nacional de fundidos. Uma possui outros negócios além de fundição.

As informações coletadas em cada fundição estão descritas no capítulo quatro.

3.3 Coleta e tratamento dos dados

Como procedimento, foram utilizados o método de entrevistas, estruturadas e não estruturadas, seguindo um roteiro previamente elaborado, bem como a observação sistemática e não participante. Além disso, envolveu a revisão bibliográfica, referencial para todo o estudo, inclusive para a pesquisa de campo.

A revisão da literatura, ou fundamentação teórica, permitiu a familiarização, em profundidade, no tema em foco, mostrando o resultado do trabalho de outros investigadores e o que ainda pode ser investigado. Além disso, permitiu descobrir as ligações do assunto com outros, ampliando a visão sobre o assunto, confirmando assim as observações de Triviños (1987).

O questionário, segundo Richardson (*op.cit.*), é talvez o mais comum instrumento de coleta de dados para obter informações acerca de grupos sociais. Pode ser elaborado com perguntas fechadas e com perguntas abertas. As perguntas fechadas (fase da entrevista estruturada) são indicadas quando os entrevistados conhecem a temática tratada, e também quando o entrevistador conhece o grupo a ser entrevistado, de modo a antecipar o tipo de respostas a serem dadas. As perguntas abertas, que se destinam a guiar a conversação (fase da entrevista não estruturada) se destinam a aprofundar as opiniões do entrevistado, o que é absolutamente necessário neste caso, tendo em vista os objetivos propostos. Elas visam obter dos entrevistados o que eles consideram mais relevante a respeito do problema em estudo.

Foram entrevistados em cada uma das empresas que compõem a população deste estudo, profissionais das áreas de PCP, logística e operações, do nível de direção ao de operação. Os roteiros para as entrevistas foram ordenados conforme recomendações propostas por Erdmann (*op. cit.*, p. 127) para organização de sistemas de planejamento e controle da produção, que assinala “se realize um diagnóstico da situação existente na empresa e, a partir disso, se conceba um sistema adequado à situação específica”.

A observação foi sistemática porque seguiu uma estrutura determinada pela organização dos roteiros; e não participante porque o investigador não atuou como membro dos grupos observados. Esta modalidade é indicada para estudos exploratórios, porém também é adequada para estudos mais profundos.

(RICHARDSON, *op.cit.*)

Os dados coletados foram registrados nos roteiros utilizados, sistematizados e analisados, conforme recomenda Kerlinger (1980), tendo-se gerado relatórios descritivos para cada um dos casos pesquisados.

Considerando-se o objetivo do presente trabalho, o método, os modos de investigação e as técnicas de coleta de dados, o tratamento qualitativo parece ser o mais oportuno. Richardson (*op. cit.*, p. 90), observa que “a pesquisa qualitativa pode ser caracterizada como a tentativa de uma compreensão detalhada dos significados e características situacionais apresentadas pelos entrevistados”. Lüdke e André (1986, p. 13) salientam que a abordagem qualitativa “preocupa-se em retratar a perspectiva dos participantes”.

Para análise dos dados coletados nos questionários e relatórios, foi adotado o método da análise de conteúdo, que, segundo Bardin (2002, p. 42),

é um conjunto de técnicas de análise das comunicações, visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não), que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens.

De acordo com esta autora, há duas práticas científicas ligadas à análise de conteúdo: a lingüística e as técnicas documentais. Na lingüística, a análise de conteúdo busca as realidades através das mensagens, enquanto que a análise documental objetiva dar forma conveniente às informações coletadas.

Dentre as técnicas citadas por Bardin (*op. cit.*), adotou-se a análise da enunciação, onde cada entrevista foi estudada em si mesma como uma totalidade organizada e singular (estudo de caso); e a análise das co-ocorrências, que procura assinalar as presenças simultâneas (co-ocorrência ou relação de associação) de dois ou mais elementos na unidade de contexto. Uma vez consolidados os relatórios de cada caso estudado, elaborou-se uma síntese interpretativa de todos os casos.

A síntese interpretativa dos casos foi comparada com os fundamentos teóricos pesquisados, relativa ao assunto em pauta, ou seja, métodos para a programação da produção e seqüenciamento de ordens de produção em fundições *flow-shop*. Esta é uma particularidade importante para que a análise e a interpretação não se restrinjam unicamente aos aspectos empíricos. Nos trabalhos empíricos, o investigador não tem a preocupação de fundamentar/confrontar a

realidade pesquisada com os referenciais teóricos que sustentam a problemática. (MAFRA, *op. cit.*)

De acordo com Triviños (*op. cit.*, p. 170), independentemente da técnica de coleta de dados, para que os resultados tenham valor científico precisam reunir, certas condições, como “a coerência, a consistência, a originalidade e a objetivação (não a objetividade), por um lado, constituindo os aspectos do critério interno da verdade; por outro lado, a intersubjetividade, o critério externo, deve estar presente no trabalho do pesquisador que pretende apresentar contribuições científicas às ciências humanas”.

O modelo foi criado a partir das definições oriundas das análises efetuadas, testado através de simulações e aplicações práticas e os resultados interpretados e avaliados quanto às condições apresentadas por Triviños (*op. cit.*).

Segundo Van Den Daele (1969), *apud* Mafra (*op.cit.*, p. 29), “o tratamento qualitativo parece mais oportuno pelo fato de o pesquisador poder rever ou voltar a analisar as fases preliminares, mesmo tendo chegado a esboçar a última fase”. Efetivamente, ocorreu a necessidade de voltar a entrevistar os programadores de produção da empresa do Caso A, onde foram realizados os testes e aplicações, para esclarecer melhor alguns aspectos relativos às regras utilizadas, bem como para coletar dados para adapta-los à teoria de conjuntos *fuzzy*. Esse aspecto foi muito favorecido pela a natureza qualitativa do trabalho.

A seguir, serão detalhadas as etapas de construção do modelo e os instrumentos utilizados, desde a fase inicial de coleta de dados até os testes e simulações com o sistema proposto.

3.4 Etapas da construção do modelo para a programação da produção em fundições

A revisão de literatura teve participação decisiva na concepção do modelo proposto, assim como também o diagnóstico das empresas pesquisadas. No entanto, para a sua estruturação e funcionamento foram necessárias várias etapas, que no seu todo apresentaram a seguinte ordenação:

1ª. Etapa: O diagnóstico da situação

A coleta de dados nas empresas pesquisadas para elaboração do diagnóstico foi baseada no roteiro adaptado do modelo de Erdmann para organização de sistemas de planejamento e controle da produção, cujos tópicos são a seguir elencados. Segundo Erdmann (*op. cit.* p. 129), “estes são orientados pela teoria de sistemas e situam-se no contexto abordado pela teoria contingencial da administração”.

Os passos desta etapa consistiram em:

1 – identificação da estrutura organizacional, com ênfase na área de operações, e mais especificamente, no planejamento e controle da produção, com intuito de contextualizar o PCP no âmbito da empresa e na produção, e reconhecer suas funções.

2 – descrição da estrutura de comunicação, com objetivo de descrever o fluxo de informações (de entrada, internas e de saída) nas relações entre as unidades orgânicas e o PCP, bem como os problemas existentes.

3- estruturação do fluxo de informações existente (entradas, internas e de saída) por atividade, com intuito de alocá-lo segundo as funções básicas do PCP.

4- caracterização da tecnologia e das relações da empresa com o meio externo, para identificar as influências no sistema de produção e os reflexos no PCP.

5- identificação dos detalhes da produção e sua relação com as características do PCP (por fábrica, divisão, linha ou época do ano).

6- descrição do grau de informatização empregado, *softwares* e nível de satisfação com o uso.

7- caracterização da função do PCP atual, suas tarefas e problemas:

a) definição da função do PCP atual, seus procedimentos, processo decisório e parâmetros utilizados;

b) identificação de problemas, do que não funciona a contento, pontos fortes e pontos fracos.

8- elaboração do relatório individual da situação existente em cada fundição pesquisada.

9- análise comparativa e síntese interpretativa da situação existente nas quatro fundições pesquisadas.

As variáveis mais importantes que procurou-se identificar nesta etapa foram:

- sistema de gestão;
- organização do sistema de produção;
- organização do sistema de PCP;
- horizonte de planejamento;
- tratamento dado às restrições;
- regras heurísticas utilizadas;
- capacidade de produção;
- parâmetros de itens (*set-ups*, *lead-times*, pesos, políticas de lote).

O roteiro desenvolvido para orientar as entrevistas de coleta de dados para atender esta etapa encontra-se no Apêndice A, p. 196.

2ª. Etapa: Comparação da síntese interpretativa da situação existente com os fundamentos teóricos pesquisados

A pesquisa de campo demonstrou já existirem soluções para vários aspectos ligados à programação da produção das fundições, como horizonte de tempo firme e horizonte flexível, matriz de utilização de capacidade dos recursos produtivos, matriz de *set-up* e políticas de lote mínimo. Todavia, para realizar a programação conjunta da fusão e da moldagem, foi observado que os programadores adotam unicamente regras heurísticas empíricas de seu conhecimento prático. Ficou evidenciada a ausência de uma sistemática que pudesse ser utilizada para esta finalidade.

Na revisão de literatura já tinham sido identificadas as decisões importantes para a programação da produção numa fundição, que são a programação do forno e a programação das máquinas de moldagem, e que, para conseguir um balanceamento adequado da fusão com a moldagem poderia ser requerido o uso de heurísticas complexas. A análise da teoria dos conjuntos *fuzzy* demonstrou a

possibilidade desta vir a ser utilizada para representar o processo de decisão dos programadores da produção das fundições.

Esta etapa consistiu, portanto, na busca de soluções apontadas pela literatura e pelos profissionais das empresas pesquisadas para o problema da fundição, tendo-se detectado a viabilidade de utilizar a teoria de conjuntos *fuzzy* para modelar uma heurística capaz de promover o seqüenciamento de ordens de produção para uma programação equilibrada da fusão e da moldagem.

3ª. Etapa: Concepção do modelo proposto e criação do ferramental

A lógica *fuzzy* serviu de base para modelar a heurística para o sequenciamento de ordens, que foi inserida na estrutura básica do sistema de PCP segundo o modelo adaptado de Fandel, François e Gubitz (1994), exposto na Figura II.19, na p. 100.

Nesta etapa, foi construída a estrutura do modelo, com representação dos fluxos, das interfaces de entrada e de saída, da base de regras lingüísticas do mecanismo de inferência, culminando com a sua implantação, baseada na teoria de conjuntos *fuzzy*, em uma planilha eletrônica.

Os passos principais desta etapa consistiram em:

- 1- consideração das características de uma das fundições pesquisadas;
- 2- desenvolvimento da base de regras lingüísticas a partir das características da fundição e do processo de decisão adotado pelos programadores de produção;
- 3- identificação dos dados de entrada: código de itens, peso da árvore, moldes/hora, kg/hora, programa de produção (itens e quantidades);
- 4- definição dos limites Max-Min dos conjuntos *fuzzy*;
- 5- definição do mecanismo de inferência (heurística de factibilização);
- 6- determinação da interface dos dados de saída;
- 7- implantar o modelo numa planilha eletrônica com linguagem Visual Basic;
- 8- generalização do modelo para aplicação em fundições com diferentes

características.

4ª. Etapa: Simulações, aplicação e análise de resultados do modelo proposto

Foram cadastrados programas de produção de quatro dias de moldagem (itens e quantidades) de uma das fundições estudadas, tendo-se utilizado duas heurísticas de factibilização para a programação dos itens de acordo com a base de regras lingüísticas estabelecida no modelo proposto.

Os resultados da aplicação foram descritos, com seu desempenho sendo avaliado frente aos indicadores determinados. Os programas de produção gerados foram também comparados com a programação estabelecida empiricamente pelo programador de produção, tendo-se verificado a sua aderência aos critérios utilizados pelo mesmo.

O esquema geral do trabalho está delineado na figura III.1.

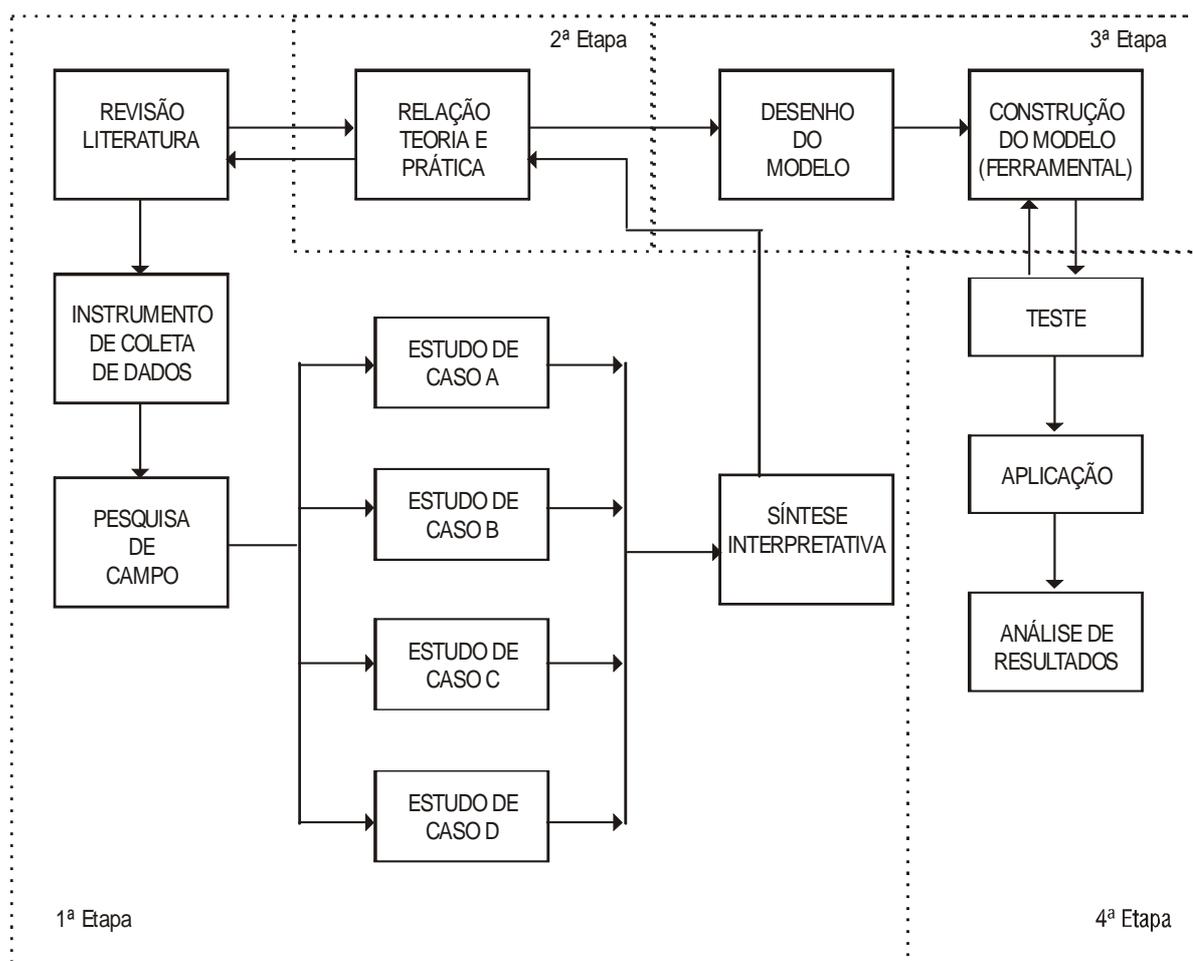


Figura III.1 - Representação esquemática da metodologia adotada
 Fonte: Adaptado de Zattar (2004)

3.5 Definição constitutiva dos principais termos

- Sistema de Produção – conjunto de partes inter-relacionadas que, quando ligadas, atuam de acordo com padrões estabelecidos sobre *inputs* (entradas) no sentido de produzir *outputs* (saídas). (HARDING, 1981, p. 24)
- Planejamento e Controle da Produção – sistema de transformação de informações sobre estoques existentes, vendas previstas, componentes, matérias-primas, processos, tempos, capacidade disponível, a partir do que se determina os dados das ordens de produção. (ZACCARELLI, 1986, p. 5)
- Programa-mestre da Produção – declaração da quantidade e do momento em

que os produtos finais devem ser produzidos; esse programa direciona toda a operação em termos do que é montado, manufaturado e comprado. (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002, p. 455)

- Programação da Produção – base para a alocação, no tempo, de tarefas a centros de trabalho. A alocação de carga é uma técnica de controle da capacidade que ressalta as sobrecargas e as ociosidades.(HEIZER e RENDER, 2001, p. 432)
- Planejamento da Capacidade – processo de determinação dos recursos necessários à realização de planos e programas de produção e dos métodos necessários para disponibilizar a capacidade. (ARNOLD, 1999, p. 142)
- Administração de Estoques – consiste no planejamento e controle de estoques, definindo a forma de reposição, os tamanhos dos lotes de reposição e os estoques de segurança do sistema. (TUBINO, *op.cit.*, p. 108)
- Seqüenciamento de Ordens de Produção – especificação da ordem em que as tarefas devem ser executadas em cada centro de trabalho. (HEIZER e RENDER, *op. cit.*, p. 432)
- Planejamento Fino – conceito que busca um elo de ligação entre o planejamento macro (médio e longo prazo) e o chão de fábrica, através de um sistema computacional gráfico de suporte à decisão para a programação e controle interativo da produção para um horizonte a curto prazo. (BREMER, 1993, *apud* SANTOS, 1997, p. 11)
- Emissão e Liberação de Ordens – atividade responsável pela emissão e liberação de ordens, que divide a quantidade de produtos finais a serem completados em ordens para materiais comprados (ordens de compra) e peças fabricadas (ordens de fabricação), organizando-as de tal forma que os materiais e peças estejam disponíveis quando necessários. (BURBIDGE, 1981, p. 288)
- Controle da Produção –procedimento de acompanhamento em que se verifica o que está acontecendo e se compara ao programado; as divergências ensejarão correção de rota. (ERDMANN, *op.cit.*, p. 39)
- Heurística – Técnica que envolve um conjunto de regras de decisão que reduz o tempo ou trabalho exigido para encontrar uma solução razoável para um sistema complexo. (KOTLER, 1996, p. 139)
- Programação Matemática Otimizante – técnica que possibilita determinar valores que otimizam alguma função objetivo que está sujeita a um conjunto de

restrições. (KOTLER, 1996, p. 139)

- Restrição – recurso que limita a produção de determinado sistema. (CORRÊA e GIANESI, 1996, p. 155)
- Tempo de *set-up* dependente – Termo utilizado para situações em que o seqüenciamento de ordens de produção determina tempos diferentes para a preparação de máquinas. (GOLDRATT, SCHRAGENHEIM e PTAK, 2000, p. 142)
- *Flow-shop* – ambiente caracterizado por permitir diferentes fluxos das ordens entre as máquinas em operações estritamente ordenadas, tendo todos os movimentos uma direção uniforme. É um caso particular de *job-shop*. (PACHECO e SANTORO, 1999, p. 2)
- Simulação – reprodução do funcionamento de um sistema, com auxílio de um modelo, que permite testar algumas hipóteses sobre o valor das variáveis controladas. As conclusões são usadas para melhorar o desempenho do sistema em estudo. (SILVA *et al.*, 1998, p. 143)
- *Finite Capacity System* (FCS) – sistema de programação com capacidade finita, capaz de considerar a capacidade do sistema produtivo como a restrição principal para a tomada de decisão, buscando garantir que a programação da produção seja viável. (ZATTAR, 2004, p. 35)
- *Advanced Planning System* (APS) – sistema de planejamento e programação avançado, que estende o poder dos sistemas de capacidade finita para além da questão da capacidade produtiva em relação à demanda. Reconhece e considera restrições provenientes da matéria prima, isto é, planeja as futuras entregas de matéria prima para o cumprimento das ordens de produção e atua na demanda do suprimento, programação, execução e otimização da programação da produção. (ZATTAR, 2004, p. 35)
- Sistema Especialista – também conhecido como sistema baseado em conhecimento, compreende programas de computador que usam o conhecimento representado explicitamente para resolver problemas. Manipula conhecimento e informação de forma inteligente e é desenvolvido para ser usado em problemas que requerem uma quantidade considerável de conhecimento humano e de especialização. (REZENDE, 2003, p. 15)
- Lógica difusa (*fuzzy*) - método heurístico que utiliza a teoria de conjuntos *fuzzy* e integra a área de inteligência artificial. (HEIZER e RENDER, 2001)

4 DESCRIÇÃO DOS CASOS

Neste capítulo procura-se organizar as informações coletadas nos estudos de caso, seguindo o roteiro delineado no Apêndice A (p. 196), com destaque para os aspectos identificados na pesquisa, ou seja, os passos e as regras heurísticas utilizadas nas decisões a curto prazo do PCP das fundições analisadas. Para cada um dos casos são descritas também informações gerais das empresas para contextualizá-las no ambiente em que operam, detalhes do processo produtivo e detalhes do sistema de PCP. No final, é elaborada uma análise comparativa entre os casos estudados e uma reflexão sobre os principais pontos observados.

4.1 Caso A

Esta fundição, localizada em Santa Catarina, está direcionada ao fornecimento de peças para o setor automotivo mundial, produzindo itens em ferro fundido nodular como carcaças, suportes de freio, peças de transmissão e girabrequins. Entre seus principais clientes destacam-se a Bosch, General Motors, Ford, Daimler-Chrysler, John Deere, Renault, Tritec, Amak, TRW, Volkswagen e Dana.

Produz 180 itens diferentes, com um volume mensal de produção da ordem de 7.000 toneladas de peças, operando em três turnos, com um efetivo de 1000 funcionários, numa área construída de 18.000 metros quadrados. O mercado externo absorve 60% da produção desta unidade.

Quinhentas (500) toneladas de peças são encaminhadas mensalmente à usinagem, que é realizada em outra unidade do grupo, considerada como cliente da fundição.

-O processo de fabricação

Utiliza os seguintes processos de fabricação, organizados em um *lay-out* por processo, com elevado grau de mecanização e automatização:

Fusão Cubilô

Composta por dois fornos cubilô, aquecido com coque de carvão, uma estação de dessulfuração e um forno elétrico utilizado para *holding*. É produzida apenas

uma liga básica de ferro fundido nodular. Composições diferenciadas são obtidas a partir do procedimento conhecido como “metalurgia de panela”, que consiste na adição de determinados elementos na panela de vazamento.

Fusão Elétrica

Constituída por três fornos de indução, energizados por duas fontes elétricas. Recebe metal líquido da Fusão Cubilô e produz uma única liga metálica de ferro fundido nodular, específica para girabrequins. Não possui, no momento, restrições de energia elétrica decorrentes da limitação de demanda contratada no horário de ponta.

Macharia “casca”

Utiliza o processo a quente (*shell molding*), possuindo nove equipamentos para a fabricação de “cascas”.

Moldagem *shell*

Composta por uma linha para acondicionamento das “cascas”.

Macharia Peças

Composta por seis máquinas para fabricação de machos pelo processo a frio (*cold-box*) e 11 máquinas que utilizam processo a quente (*shell core*).

Moldagem Peças

Constituída por três linhas de moldagem, que utilizam o processo de areia “verde” (areia aglomerada com argila e água).

Quebra de Canais e Limpeza

Operações integradas no próprio fluxo da moldagem através de esteiras transportadoras, utilizando cunhas hidráulicas para remoção de canais e massalotes, e máquinas de limpeza com jato de granalha.

Tratamento Térmico

Composta por dez fornos de tratamento térmico para alívio de tensões em itens que requerem propriedades específicas de dureza e resistência. Cerca de 20% dos 180 itens produzidos são tratados.

Acabamento e Controle de Qualidade

Composta por cinco linhas de acabamento, onde são realizadas operações de rebarbação, esmerilhamento, corte, fresagem, inspeção de qualidade e proteção superficial, em equipamentos dispostos ao longo de esteiras transportadoras.

O fluxograma do processo de fabricação é apresentado na Figura IV.1.

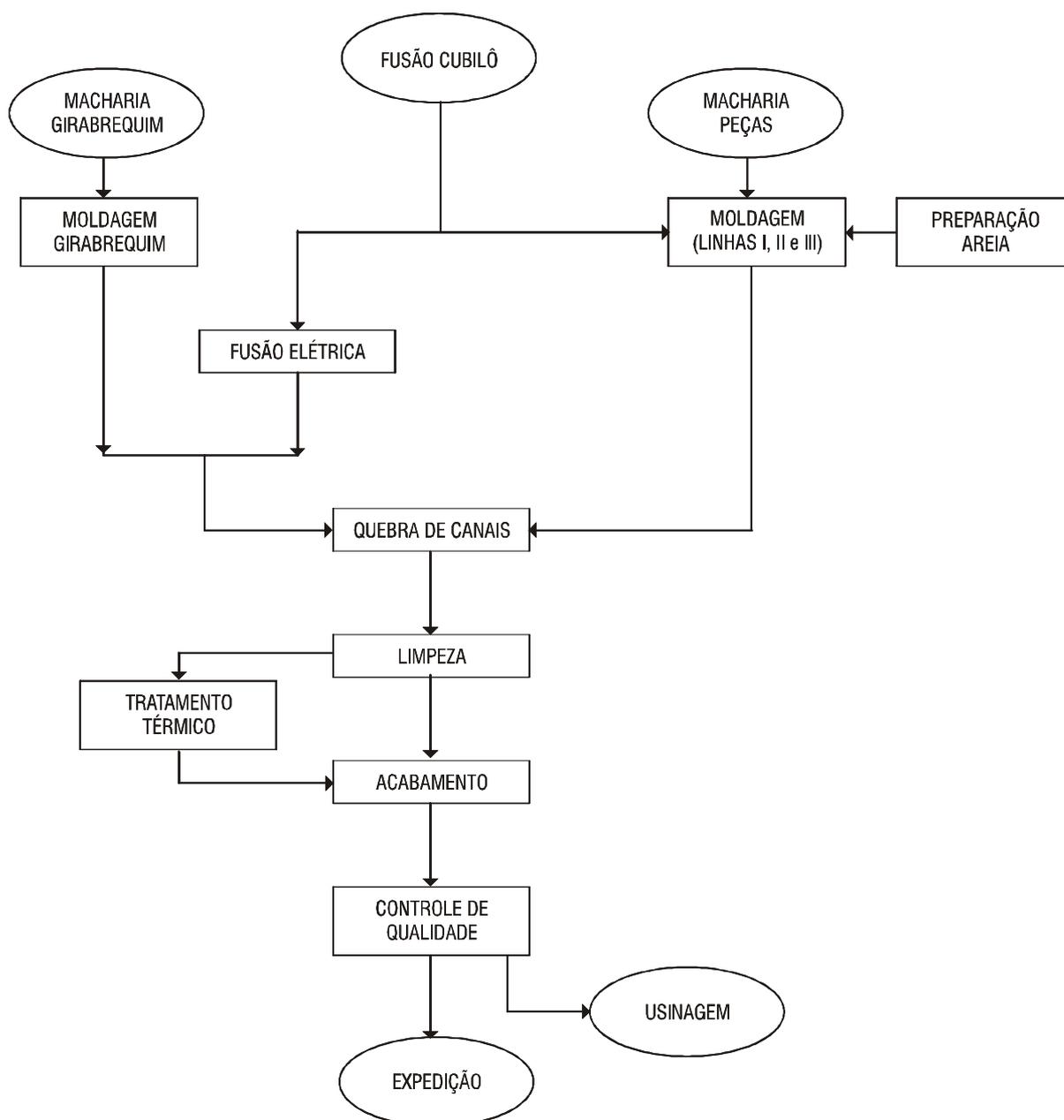


Figura IV.1 - Fluxograma do processo de fabricação – caso A
 Fonte: Dados primários (2005)

-O PCP: estrutura e processo

A programação da produção está ligada diretamente ao gerente da unidade, numa função de *staff*. Dois profissionais programam todos os setores da unidade (um programa a fundição e outro o acabamento), e são responsáveis também pelo volume do estoque de produtos em processo. O estoque de produtos acabados (conhecido como *expedição*), a programação de pedidos, os embarques, as embalagens, o faturamento e os contatos com os clientes são atividades cuja

responsabilidade cabe ao setor de logística, que está subordinado diretamente ao diretor de operações. As necessidades do que deve ser produzido são calculadas através do sistema ERP/MRP utilizado pela empresa, com a geração das ordens de produção para os itens que devem ser acabados para dar entrada na expedição e para os itens que devem ser produzidos nas linhas de moldagem. Estas ordens são utilizadas pelos programadores para a elaboração dos programas de produção.

Os apontamentos de produção realizados na fusão (carregamento de matéria-prima nos fornos), na moldagem (moldes produzidos por item), e na macharia (machos produzidos por item) são executados pelo pessoal de produção, e no acabamento (entrada na expedição) são executados pelo pessoal da logística.

Nos arquivos do ERP/MRP encontram-se os seguintes cadastros no banco de dados:

- itens;
- pedidos;
- estrutura de produtos: peça usinada, peça acabada, peça tratada, peça fundida, ferro líquido, macho, materiais específicos do produto, como luvas (luvas são produtos exotérmicos colocados nos moldes em locais onde se deseja direcionar o resfriamento das peças de maneira controlada) e *chapelins* (suportes para acondicionamento de machos nos moldes);
- roteiros de fabricação (não há roteiros alternativos);
- tempos-padrão das operações;
- padrões de peso: peça fundida, conjunto peça fundida +canais + massalotes (conhecido como “árvore”) e peça acabada;
- lote mínimo (600 moldes);
- padrões de refugo;
- dias úteis, os turnos/dia, horas disponíveis/turno.

Os dados de estoques também se encontram nos arquivos do ERP/MRP (produtos acabados na expedição, em processo aguardando usinagem, em processo aguardando acabamento, em processo aguardando tratamento térmico).

O processo para gerar o programa de produção é realizado em duas etapas. Na primeira, que ocorre a cada início de mês, é estabelecido o programa-mestre mensal, a partir da carteira de pedidos, cujos volumes mensais são divididos em cotas diárias, devido a maioria dos clientes desejar receber peças diariamente. São

calculadas as necessidades líquidas para as respectivas fases produtivas (fusão, moldagem, macharia, tratamento térmico e acabamento), a partir das quais são determinados os requisitos de capacidade do programa mensal, que são comparados com as capacidades disponíveis no período. Caso haja restrições (*gargalos*), as gerencias de produção e de logística definem ações específicas para amenizá-las, como horas extras, industrialização externa, contratação de mão-de-obra, turnos adicionais etc. Em último caso, o programa-mestre mensal é reduzido para se adequar à limitação existente. Caso haja previsão de paradas de equipamentos para manutenção, esta é informada pelo setor competente à programação da produção, que reduz, conseqüentemente, a capacidade disponível no período considerado.

Na segunda etapa, com o programa-mestre mensal já devidamente ajustado, é elaborado o programa diário, para cada dia dentro de um horizonte de cinco dias úteis, para as seguintes operações da fundição:

- moldagem (itens e quantidade de moldes);
- acabamento (itens e quantidade de peças).

As necessidades líquidas calculadas diariamente pelo ERP/MRP são convertidas em número de moldes para as linhas de moldagem girabrequim e moldagem peças (as três linhas de moldagem peças são consideradas como uma linha única pelo ERP/MRP), e utilizadas pelo programador de produção para determinar o programa diário de cada linha (itens, quantidades, prioridades, datas).

Os ferramentais de fundição são considerados todos liberados para a produção, isto é, disponíveis para entrarem em operação a qualquer momento. Caso haja necessidade de manutenção mais prolongada, ou impedimentos relacionados ao processo metalúrgico, o setor encarregado pela manutenção e pelo processo comunica à programação da produção, formalmente, o impedimento do ferramental, com prazo para retorno. Durante o período de impedimento, o item não será programado.

Para o seqüenciamento dos itens nas linhas de moldagem, o programador de produção considera critérios para definição dos itens (escolha das ordens) e vários fatores restritivos, não só os específicos das linhas de moldagem, mas também os das demais fases do processo produtivo, através de procedimentos heurísticos.

Além do *lead-time* de um dia entre a moldagem e a entrada na expedição, e de

um dia entre a macharia e a moldagem (peças que sofrem operações de tratamento térmico tem *lead-time* mais longo, dependendo do tipo de tratamento); o programador adota as seguintes regras:

- atender as datas de conclusão dos programas (entrada na expedição);
- otimizar o uso do gargalo onde não há opções de alternativas para atenuá-lo;
- equilibrar a quantidade ofertada de metal líquido (fusão) com a quantidade de metal líquido demandado (moldagem);
- manter o nível do estoque de produtos em processo dentro de limites previamente determinados.

No caso específico desta unidade, por ocasião da pesquisa, a aplicação destas regras gerou o seguinte procedimento prático para estabelecimento do programa diário de moldagem:

Passo 1: sequenciar os itens priorizando o atendimento das datas de entrega na expedição;

Passo 2: observar abastecimento equilibrado das etapas do processo de fabricação que vêm após a fundição propriamente dita: fornos de tratamento térmico e linhas de acabamento (eventuais gargalos podem ser minimizados através de industrialização externa).

Passo 3: programar as duas linhas de moldagem peças com itens que possuem macho e uma linha com itens que não possuem macho (a macharia peças está momentaneamente com quadro de pessoal restrito, e a experiência ao longo do tempo têm determinado empiricamente uma relação macharia x moldagem que é usada como referência);

Passo 4: programar apenas uma peça pesada de cada vez, ou no máximo duas, para serem produzidas simultaneamente, considerando que a fusão é o maior gargalo da unidade (não há definição do que é peça leve, peça média ou peça pesada – estes conceitos são aplicados subjetivamente pelo programador).

Uma vez definido o programa diário da moldagem, automaticamente também estará definido o programa diário da macharia (os machos consumidos num dia são confeccionados no dia anterior; o supervisor de produção “carrega” as máquinas de machos de acordo com as necessidades da moldagem). O programa do tratamento térmico e o do acabamento é orientado pelas prioridades de entrada na expedição e

pela disponibilidade do estoque de produtos em processo. Aspectos relacionados à *set-up* não são preocupantes, porque só há uma liga base na fusão e os demais equipamentos são dotados de dispositivos de troca rápida de ferramentas.

O horizonte de cinco dias foi estabelecido principalmente em função da necessidade de ajuste e manutenção dos ferramentais de fundição, que são completamente revisados antes de entrar em produção. Alguns materiais comprados e que são específicos dos itens, como luvas exotérmicas e *chapelins*, também podem ter dificuldades de abastecimento a curto prazo. Durante este período o programador procura evitar mudanças na programação, embora nem sempre seja possível, tanto em função de alterações nas necessidades dos clientes, como em função do não cumprimento das metas acordadas devido a problemas internos.

Há uma interação constante e intensa entre os funcionários da logística e da produção. Além de uma reunião diária para determinar medidas preventivas e corretivas em função do desempenho da produção e do atendimento ao programa, são analisados também ajustes para equacionar mudanças de prioridades emanadas da clientela.

O desempenho é analisado diariamente tendo como referência relatórios que comparam o volume programado com o realizado, tanto diariamente como mensalmente, e os atrasos de programa, na moldagem e na entrada da expedição.

As mudanças na programação e as reprogramações dentro do horizonte considerado fixo são consideradas um dos maiores problemas enfrentados pela programação da produção.

O fluxograma do PCP é apresentado na Figura IV.2.

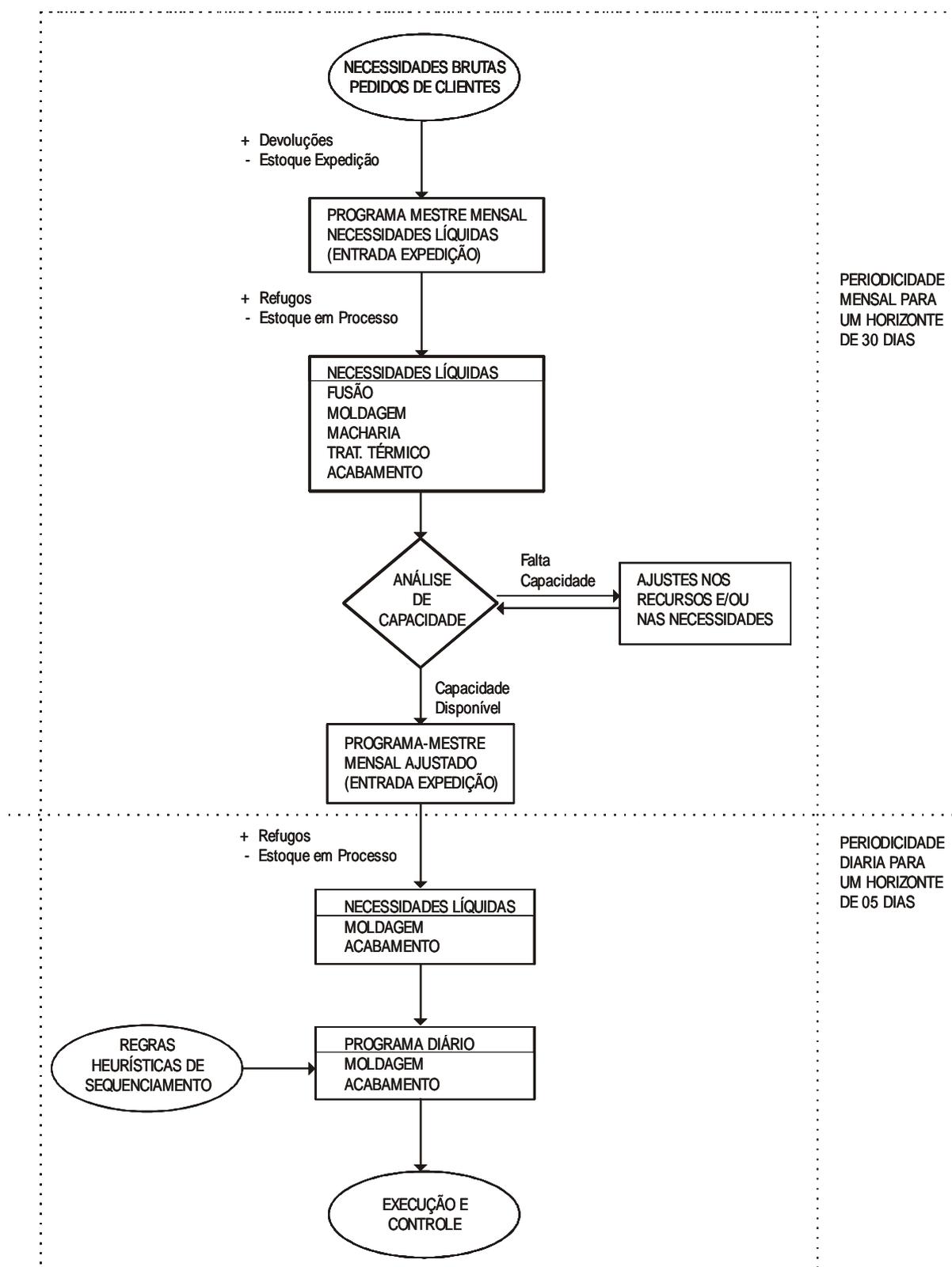


Figura IV.2 - Fluxograma do PCP – caso A
 Fonte: Dados primários (2005)

4.2 Caso B

Esta fundição também está localizada em Santa Catarina, e é totalmente integrada e direcionada ao fornecimento de peças para o setor automotivo em todo o mundo, produzindo peças de 15 a 150 kg em ferro fundido cinzento, nodular e vermicular, como blocos e cabeçotes de motores, carcaças de transmissão, cubos de roda e tambores de freio. Entre seus principais clientes destacam-se a General Motors, Ford, Daimler-Chrysler, Mercedes Benz, Peugeot, MWM, Audi e Volkswagen.

Produz 165 itens diferentes para apenas 15 clientes, com um volume mensal de produção na ordem de 22.000 toneladas de peças, operando em três turnos de produção, com um quadro de pessoal de 2.500 pessoas. Cerca de 15 % da produção é encaminhada à usinagem e 60% destina-se ao mercado externo.

- O processo de fabricação

Esta unidade conta com os seguintes processos de fabricação, organizados em um *lay-out* por processo, com elevado grau de mecanização e automatização (macharia e moldagem):

Fusão Cubilô + Fusão Elétrica Indução

Composta por um forno cubilô, aquecido com coque de carvão, e seis fornos elétricos de indução. São produzidas as seguintes ligas metálicas: ferro fundido cinzento, ferro fundido nodular e ferro fundido vermicular. Possui restrições de energia elétrica decorrentes da limitação de demanda contratada no horário de ponta (entre 18:00 e 21:00 horas).

Fusão Cubilô + Fusão Elétrica "Holding"

Compõe-se de um forno cubilô, cujo ferro líquido que é transferido para dois fornos elétricos do tipo *holding*. Neste conjunto é produzida unicamente a liga metálica de ferro fundido cinzento.

Macharia Blocos e Cabeçotes de Motor

Possui sete células para fabricação de machos para blocos e cabeçotes de motor. A célula é composta por uma ou mais máquinas de machos, uma instalação de montagem, uma instalação de pintura e uma de secagem (estufa).

Macharia Peças

Composta por 18 máquinas para fabricação de machos. Algumas utilizam o

processo a frio e outras utilizam o processo a quente.

Moldagem

Constituída por três linhas de moldagem, que utilizam o processo de areia “verde”, com as seguintes características:

Linha I – Produz blocos, cabeçotes e carcaças, em ferro fundido cinzento, nodular ou vermicular, provenientes da fusão elétrica indução.

Linha II – Produz peças tambores de freio e cubos de roda, em ferro cinzento ou nodular, proveniente da fusão elétrica indução.

Linha III – Produz blocos e cabeçotes “pesados”(> 150 kg), em ferro cinzento, provenientes da fusão elétrica *holding*.

Quebra de Canais e Limpeza

Operações integradas no próprio fluxo da moldagem através de esteiras transportadoras, utilizando cunhas hidráulicas para remoção de canais e massalotes, e máquinas de limpeza com jato de granalha.

Tratamento Térmico

Composta por um forno de tratamento térmico para alívio de tensões de apenas um tipo de bloco de motor fornecido para um cliente. A capacidade é de 30 peças/hora.

Acabamento e Controle de Qualidade

Composta por nove linhas de acabamento, onde são realizadas operações de rebarbação, esmerilhamento, corte, fresagem, inspeções de qualidade e proteção superficial, em equipamentos dispostos ao longo de esteiras de roletes.

O fluxograma do processo está demonstrado na Figura IV.3.

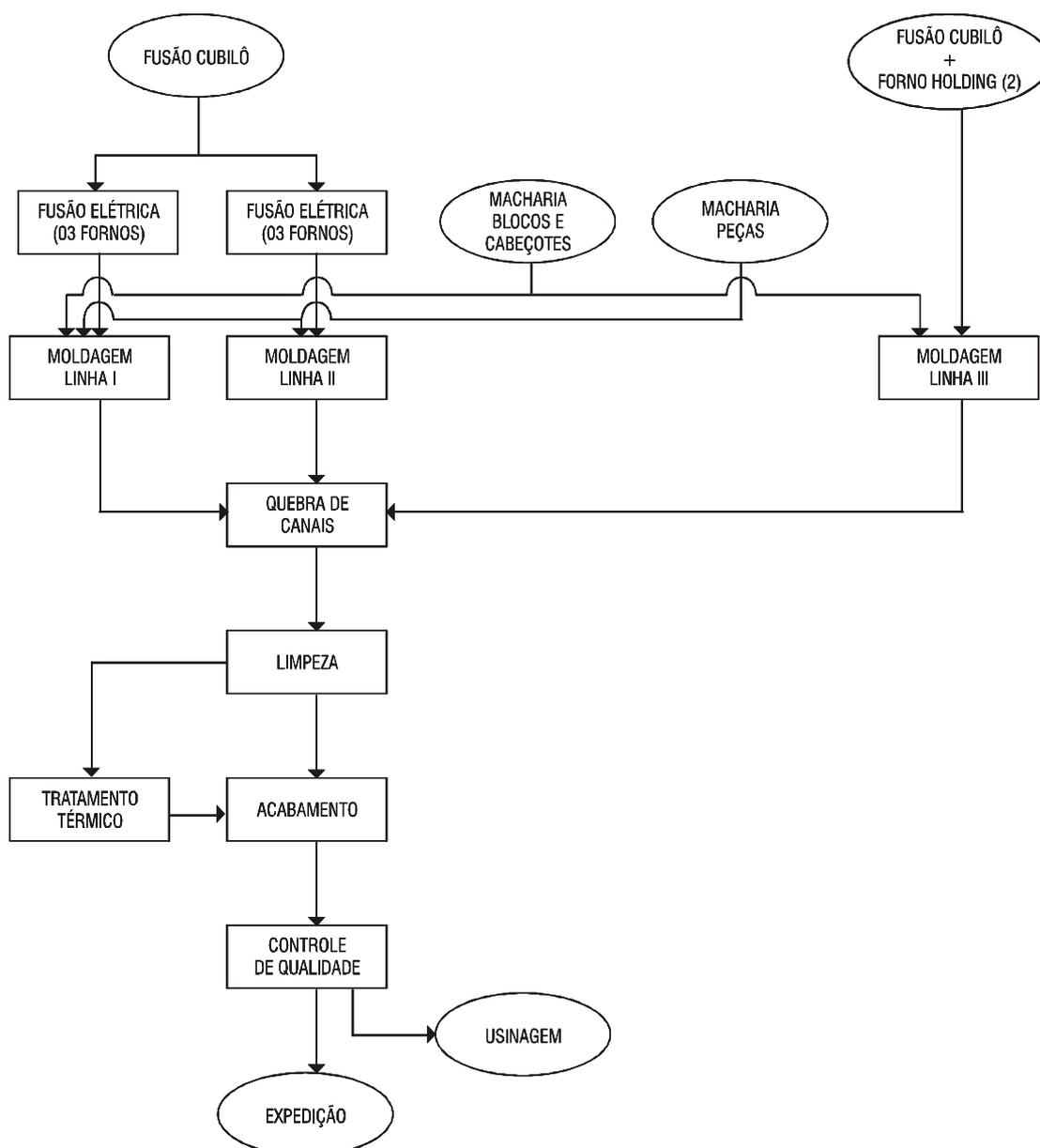


Figura IV.3 - Fluxograma do processo de fabricação – caso B
 Fonte: Dados primários (2005)

-O PCP: estrutura e processo

A programação da produção está subordinada diretamente ao gerente da unidade, numa função de *staff*. Dois programadores (um para a fundição e um para o acabamento) elaboram o programa para todas as áreas da unidade, que é responsável também pelo volume do estoque de produtos em processo. O setor de

logística, subordinado ao diretor de operações, é responsável pelo estoque de produtos acabados, programação de pedidos, embarques, embalagens, faturamento e interface com os clientes. As ordens de produção para os itens que devem dar entrada na expedição são geradas no sistema de gestão ERP/MRP. A partir destas ordens, os programadores elaboram os programas de produção.

Os apontamentos de produção são executados pelo pessoal de produção, e no acabamento (entrada na expedição) esta atribuição cabe ao pessoal da logística.

No banco de dados do ERP/MRP estão cadastrados todos os dados relativos a itens, pedidos, processos, parâmetros de planejamento e estoques.

O processo para gerar o programa de produção é realizado em três etapas. Na primeira, que ocorre a cada início de mês, é estabelecido o programa-mestre mensal, a partir da carteira de pedidos, cujos volumes mensais são divididos em cotas diárias, para atender os requisitos dos clientes. São calculadas as necessidades líquidas para as respectivas fases produtivas (fusão, moldagem, macharia, tratamento térmico e acabamento), a partir das quais são determinadas as necessidades de capacidade requeridas pelo programa mensal, que são comparadas com as capacidades disponíveis no período. Caso não haja capacidade suficiente, são tomadas medidas para amenizar ou eliminar esta dificuldade, ou o programa é ajustado para ficar compatível com a capacidade. Paradas programadas de manutenção também são consideradas pelo programador.

Neste passo, também são identificadas as necessidades de liga metálica e estabelecidos quantos dias por semana serão necessários para produzir cada tipo de liga.

Na segunda etapa, com o programa-mestre mensal já devidamente ajustado, é elaborado o programa diário, para todos os dias do mês em curso, para as seguintes operações da fundição:

- fusão (tipo de liga metálica);
- moldagem (itens e quantidade de moldes);
- acabamento (itens e quantidade de peças).

As necessidades líquidas calculadas pelo ERP/MRP a partir das ordens de produção do que deve dar entrada na expedição são transformadas em número de moldes pelo programador de produção para determinar o programa diário de cada linha (itens, quantidades, prioridades, datas), considerando a liga metálica e a

capacidade de produção, utilizando para isso padrões históricos.

Os procedimentos relativos aos ferramentais de fundição (impedimentos) é semelhante ao já descrito para o Caso A.

O seqüenciamento das ligas na fusão é estabelecido através de uma matriz de *set-up*, que procura minimizar o tempo dispendido para a troca de liga nos fornos, já que a fusão é o gargalo de fundição. A matriz adotada nesta unidade apresenta as seguintes seqüências:

- a) ferro fundido cinzento → ferro fundido nodular ferrítico → ferro fundido nodular perlítico → ferro fundido cinzento;
- b) ferro fundido cinzento → ferro fundido vermicular → ferro fundido cinzento.

Para o seqüenciamento dos itens nas linhas de moldagem de cada tipo de liga programada no dia, o programador de produção considera critérios para definição dos itens (escolha das ordens) e gargalos, através de procedimentos heurísticos processados manualmente e em planilhas eletrônicas.

O programador adota algumas regras, além de considerar o *lead-time*, para elaborar o programa, como:

- respeitar as datas de entrega dos produtos na expedição;
- aproveitar ao máximo a capacidade dos gargalos;
- equilibrar a oferta de metal líquido com o demandado pela moldagem;
- manter constantes os níveis do estoque de produtos em processo.

No caso específico desta unidade, por ocasião da pesquisa, a aplicação destas regras gerou o seguinte procedimento para definição do programa diário de moldagem:

Passo 1: sequenciar os itens priorizando o atendimento das datas de entrega na expedição;

Passo 2: manter suprido o forno de tratamento térmico, um dos gargalos da unidade;

Passo 3: programar peças leves durante duas horas quando inicia troca de liga no forno;

Passo 4: programar peças leves no horário de ponta (restrição de energia) nas linhas de moldagem atendidas pela fusão indução;

Passo 5: programar alternadamente peças leves e peças pesadas em cada linha de moldagem;

Passo 6: observar abastecimento equilibrado das etapas do processo de fabricação que vêm após a fundição propriamente dita, como as linhas de acabamento.

A terceira etapa consiste em revisar diariamente o programa diário para cada um dos dias dentro de um horizonte de quatro dias, utilizando os mesmos critérios da segunda etapa.

O programa da macharia é definido a partir do programa da moldagem. Os machos consumidos num dia são produzidos no dia anterior, sendo que o supervisor de produção “carrega” células e as máquinas de machos individuais de acordo com as necessidades da moldagem. O programa do acabamento é orientado pelas datas de entrega definidos com os clientes e pela disponibilidade do estoque de produtos em processo. Aspectos relacionados à *set-up* são preocupantes apenas na fusão (matriz para troca de liga). Nas demais etapas do processo de fabricação, os equipamentos são dotados de dispositivos de troca rápida de ferramentas.

A necessidade de manutenção de ferramentais foi o fator que determinou a fixação do horizonte em quatro dias. Dificuldades na aquisição a curto prazo de materiais ocorrem apenas em itens utilizados no produto final, como luvas exotérmicas e *chapelins*. Dentro deste horizonte procura-se evitar mudanças na programação, embora nem sempre seja possível, tanto em função de alterações nas necessidades dos clientes, como em função do não cumprimento das metas acordadas devido a problemas internos.

Há uma interação constante e intensa entre os funcionários da logística e da produção, visando equacionar o problema de atendimento para os clientes. O desempenho é avaliado diariamente tendo como referência relatórios que comparam o volume programado com o realizado, tanto diariamente como mensalmente, e os atrasos de programa, na moldagem e na entrada da expedição.

O fluxograma do PCP está descrito na Figura IV.4.

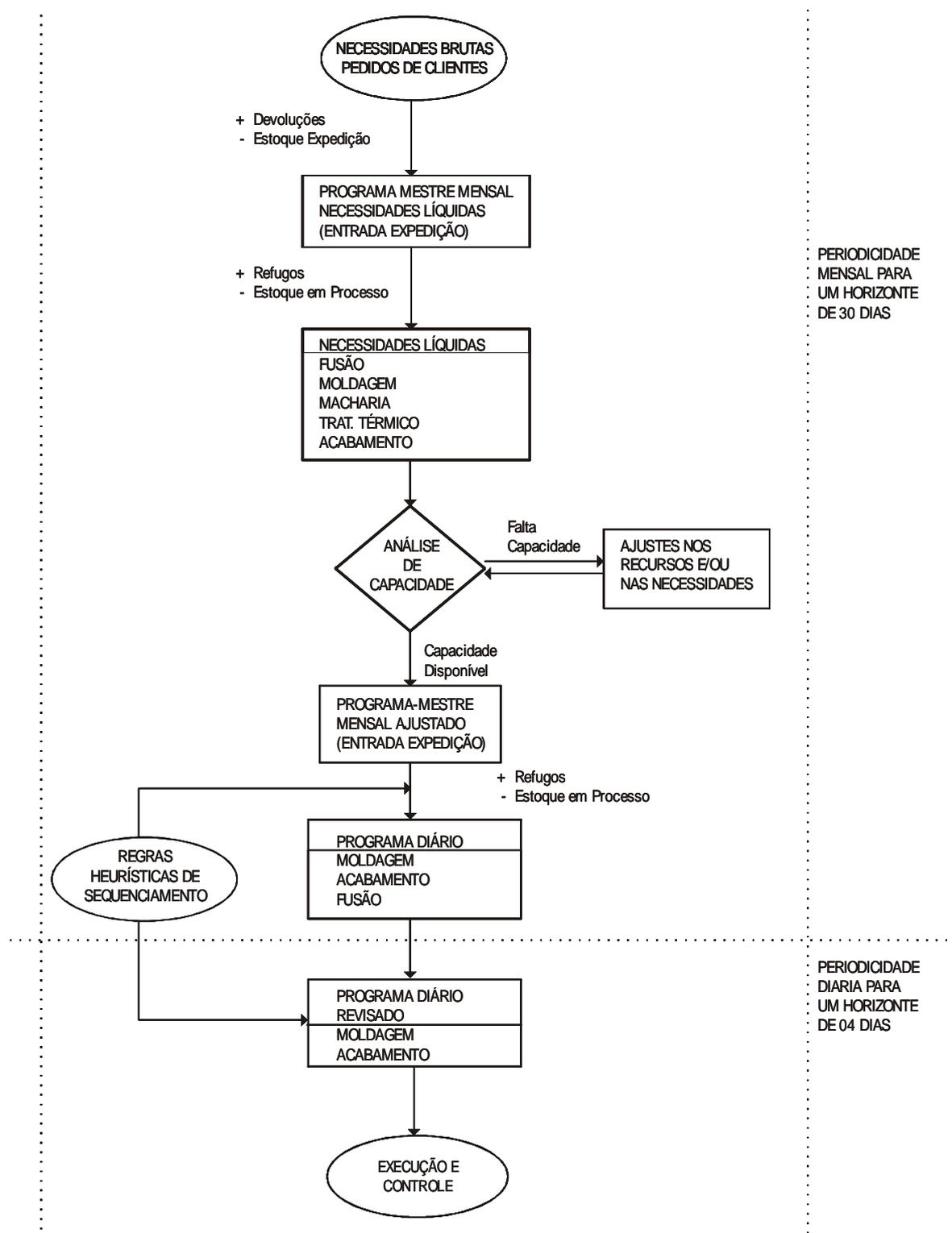


Figura IV.4 - Fluxograma do PCP – caso B
 Fonte: Dados primários (2005)

4.3 Caso C

-Dados Gerais

Esta fundição está localizada no Rio Grande do Sul, e produz tambores de freio em ferro fundido cinzento para a linha automotiva pesada (caminhões, ônibus e semi-reboques das linhas Ford, Volvo, Carreta, Truck, Mercedes e Scania) diretamente para as montadoras e para atender ao mercado de reposição. Cerca de dez % da produção destina-se ao mercado de reposição nacional e outros dez % ao mercado de reposição internacional (Mercosul, Reino Unido e Europa). Metade da produção é fornecida totalmente usinada e a outra metade é fornecida em bruto (somente acabada).

Produz 470 tipos de tambores diferentes, com um volume mensal de produção da ordem de 27.000 unidades, que perfazem 2.000 toneladas de peças, operando em três turnos na fusão e nos demais setores em dois turnos, com um efetivo de 210 funcionários, numa área construída de 20.000 metros quadrados. Atende a aproximadamente 300 clientes, seis absorvendo 80% da produção.

-O Processo de Fabricação

Esta unidade conta com os seguintes processos de fabricação, organizados em um *lay-out* por processo, com elevado grau de mecanização e automatização (usinagem):

Fusão Elétrica

Constituída por nove fornos de indução, energizados por 05 fontes elétricas. Produz uma única liga metálica de ferro fundido cinzento. Possui restrições de energia elétrica decorrentes da limitação de demanda contratada no horário de ponta (entre 18:00 e 21:00 horas), com redução de 10 % na oferta de energia.

Macharia

Os molde de tambores de freio dispensam o uso de machos, portanto, a empresa não utiliza este processo.

Moldagem

Constituída por duas linhas de moldagem, que utilizam o processo de areia “verde”.

Quebra de Canais e Limpeza

Operações executadas imediatamente após resfriamento no molde e desmoldagem. Utilizam martelotes para remoção de canais e massalotes, e máquinas de limpeza com jato de granalha.

Tratamento Térmico

Os tambores de freio não são tratados, por conseguinte este processo não é utilizado pela empresa.

Acabamento

Composta por uma linha onde são executadas operações de rebarbação.

Usinagem e Controle de Qualidade

Composta por 12 centrais de usinagem, abastecidas por transportadores de roletes e operando de forma independente.

Proteção Superficial

Composta por uma instalação de pintura e uma para banho de óleo (os tambores são fornecidos aos clientes pintados ou oleados).

O fluxograma do processo de produção é apresentado na Figura IV.5.

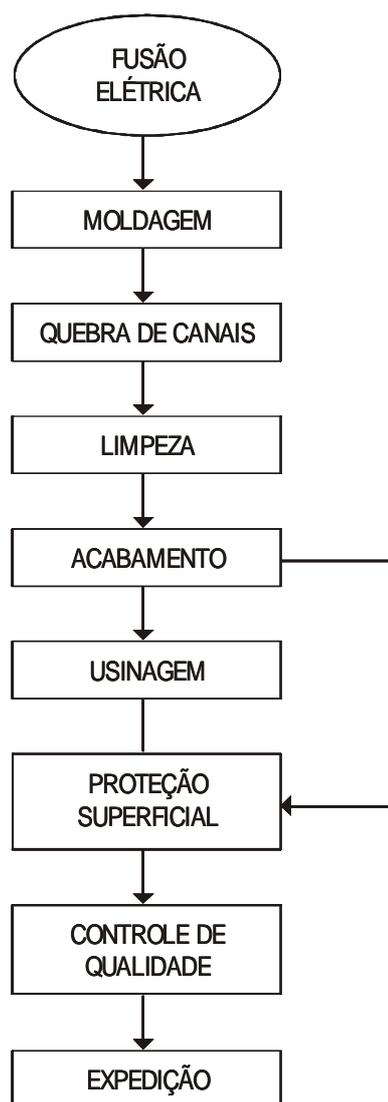


Figura IV.5 - Fluxograma do processo de fabricação – caso C
Fonte: Dados primários (2005)

3-O PCP: Estrutura e Processo

A programação da produção está ligada diretamente ao gerente industrial. O programa de produção é elaborado pelo coordenador da produção, que é responsável também pelo estoque de produtos em processo, pelo estoque de produtos acabados (conhecido como *expedição*), pelos embarques e pelas embalagens. O faturamento e os contatos com os clientes são atividades cuja responsabilidade cabe ao setor de vendas, que está subordinado ao gerente administrativo. As necessidades do que deve ser produzido são calculadas através

do sistema ERP/MRP utilizado pela empresa, com a geração das ordens de produção para os itens acabados que devem ser entregues na expedição e para os itens que devem ser produzidos nas linhas de moldagem. Estas ordens são utilizadas para a elaboração dos programas de produção.

Os apontamentos de produção realizados na fusão (carregamento dos fornos), na moldagem (quantidades produzidas por item em cada ordem de produção) e na expedição são executados pelo pessoal de operação.

Nos arquivos do ERP/MRP encontram-se os seguintes cadastros no banco de dados:

- itens;
- pedidos;
- estrutura de produtos com os seguintes níveis: peça usinada, peça acabada, peça fundida, ferro líquido;
- roteiros de fabricação (não há roteiros alternativos);
- tempos-padrão das operações, determinados pelos valores históricos;
- padrões de peso: peça fundida, conjunto peça fundida + canais + massalotes (“árvore”) e peça acabada;
- padrões de refugo (considerado o valor de 5%);
- lote mínimo: não adota este conceito;
- dias úteis, os turnos/dia; horas disponíveis/turno.

Os dados de estoques também se encontram nos arquivos do ERP/MRP (produtos acabados na expedição e produtos em processo).

O processo para gerar o programa de produção é realizado em duas etapas. Na primeira, que ocorre a cada início de mês, é estabelecido o programa-mestre mensal, a partir da carteira de pedidos, cujos volumes mensais são divididos em cotas diárias, devido a maioria dos clientes que recebem grandes volumes desejarem receber peças diariamente. São calculadas as necessidades líquidas para as fases produtivas críticas: moldagem e usinagem, a partir das quais são determinadas as necessidades de capacidade requeridas pelo programa mensal,

que são comparadas com as capacidades disponíveis no período. Caso haja restrições (gargalos), a gerencia de produção define ações específicas para amenizá-las, como horas extras, industrialização externa (usinagem), turnos adicionais, etc. Em último caso, o programa-mestre mensal é reduzido para se adequar à limitação existente. Previsão de paradas de equipamentos para manutenção são informadas para a programação, que toma as providências que o caso requer.

Na segunda etapa, com o programa-mestre mensal já devidamente ajustado, é elaborado semanalmente o programa diário, para cada dia dentro de um horizonte de duas semanas, para as seguintes operações da fundição:

- moldagem (itens, quantidade de moldes e número da ordem de produção);
- entrada na expedição (itens, quantidade de peças e número da ordem de produção).

As necessidades líquidas calculadas pelo ERP/MRP para as linhas de moldagem são utilizadas pelo programador de produção para determinar o programa diário de cada linha (itens, quantidades, datas), considerando a capacidade de produção.

Os ferramentais de fundição são considerados todos liberados para a produção, isto é, disponíveis para entrarem em operação a qualquer momento. Dificilmente há casos de impedimento de ferramentais devido à necessidade de manutenção mais prolongada porque há ferramentais reservas dos itens que são mais produzidos.

Para o seqüenciamento dos itens nas linhas de moldagem, o programador de produção considera um único critério para definição dos itens (escolha das ordens), através de procedimentos heurísticos, processados manualmente e em planilhas eletrônicas.

Além do *lead-time* de um dia entre a moldagem e a entrada na expedição (este parâmetro já com certa folga, pois o tempo normalmente decorrido é de 12 horas), na programação é adotada como regra única a de atender as datas de conclusão dos programas (entrada na expedição). Como a moldagem é o gargalo, e há capacidade ociosa na fusão, que só produz uma liga, não há dificuldades em

balancear a fusão e a moldagem.

No caso específico desta unidade, por ocasião da pesquisa, a aplicação desta regra gerou o procedimento prático de apenas um passo para estabelecimento do programa diário de moldagem, que é o de sequenciar os itens priorizando o atendimento das datas de entrega na expedição.

Uma vez definido o programa diário da moldagem, automaticamente também está definido o programa diário do acabamento e da usinagem, que é orientado pelas prioridades das necessidades de entrada na expedição e pela disponibilidade do estoque de produtos em processo. Aspectos relacionados à *set-up* não são preocupantes porque só há uma liga base na fusão e os demais equipamentos são dotados de dispositivos de troca rápida de ferramentas.

A periodicidade de uma semana para revisar o programa de produção foi determinado principalmente em função da necessidade de ajuste e manutenção dos ferramentais de fundição, que são completamente revisados antes de entrar em produção. Durante este período, procura-se evitar mudanças na programação, embora nem sempre seja possível.

Há uma interação constante e intensa entre os funcionários da área administrativa (vendas) e da produção. Além de uma reunião diária para determinar medidas preventivas e corretivas em função do desempenho da produção e do atendimento ao programa, são analisados também ajustes para equacionar prioridades relacionadas às necessidades da clientela.

O desempenho é analisado diariamente tendo como referência relatórios que comparam o volume programado com o realizado, tanto diariamente como mensalmente, e os atrasos de programa, na moldagem e na entrada da expedição.

As mudanças na programação e as reprogramações dentro do horizonte considerado fixo são consideradas um dos maiores problemas enfrentados pela programação da produção.

O fluxograma do PCP está representado na Figura IV.6.

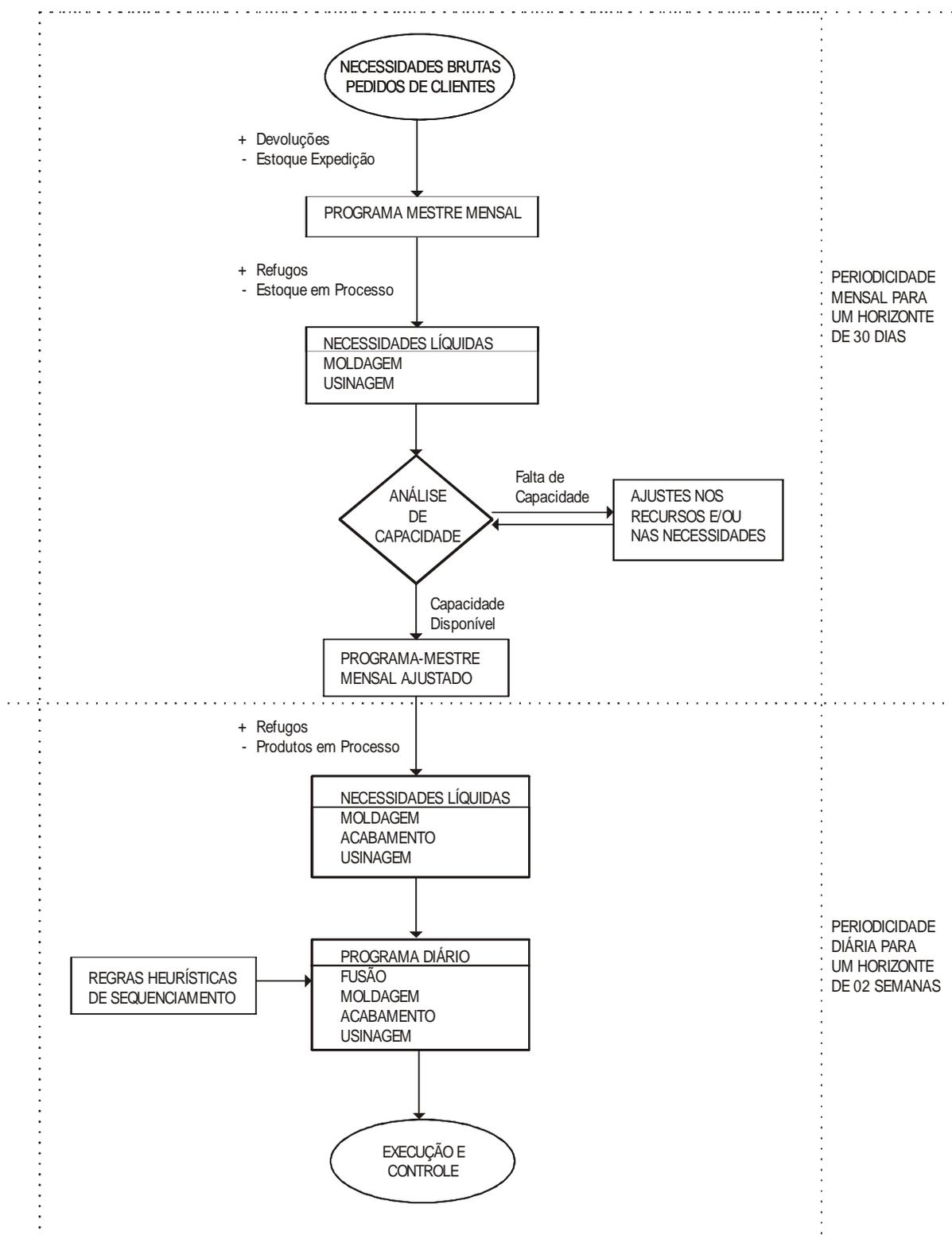


Figura IV.6 - Fluxograma do PCP – caso C
 Fonte: Dados primários (2005)

4.4 Caso D

-Dados Gerais

Esta fundição também está localizada em Santa Catarina. Fabrica uma diversificada gama de produtos em ferro fundido cinzento e nodular, cujo peso varia de 0,1 a 60 kg e fornecidos, em sua maior parte, para os segmentos de eletroferragem (peças para transmissão e distribuição de energia elétrica) e automotivo, com acabamento bruto ou usinado, e proteção superficial oleado, pintado ou zincado (galvanização por imersão à quente). Quase 50% do que é produzido é destinada às indústrias de energia elétrica do mercado norte-americano, europeu e asiático.

Possui 800 itens ativos, dos quais cerca de 350 estão constantemente em produção. O volume mensal de produção é da ordem de 1.600 toneladas de peças, operando parcialmente em três turnos, com um efetivo de 900 funcionários, numa área construída de 15.000 metros quadrados.

-O Processo de Fabricação

Esta unidade conta com vários processos de fabricação, organizados em um *lay-out* por processo e alocados em dois pavilhões (a fundição, o tratamento térmico e o acabamento estão em um pavilhão, enquanto que a usinagem e a zincagem estão em pavilhão separado).

Fusão Elétrica

Constituída por cinco fornos de indução, energizados por três fontes elétricas. São produzidos duas ligas metálicas de ferro fundido: cinzento e nodular. Possui restrições de energia elétrica decorrentes da limitação de demanda contratada no horário de ponta, o que limita a capacidade de fusão neste período (entre 18:30 e 21:00 horas) em 25%.

Macharia

Composta por 18 máquinas para fabricação de machos, divididas em quatro grupos de equipamentos distintos. Algumas utilizam o processo a frio e outras utilizam o processo a quente.

Moldagem

Constituída por seis linhas de moldagem, que utilizam o processo de areia “verde”, com as seguintes características:

Linha I – Produz peças pequenas e médias, em ferro fundido cinzento e

nodular.

Linhas II e III – Produz peças pequenas e médias, em ferro fundido cinzento e nodular.

Linha IV – Produz peças pequenas, em ferro fundido cinzento e nodular.

Linha V - Produz peças pequenas e médias, em ferro fundido cinzento e nodular.

Linha VI – Produz as peças grandes, em ferro cinzento e nodular.

Quebra de Canais e Limpeza

Esta etapa do processo consiste de operações integradas no próprio fluxo da moldagem através de contenedores movimentados por empilhadeiras e esteiras transportadoras de roletes, utilizando cunhas hidráulicas para remoção de canais e massalotes, e máquinas de limpeza com jato de granalha.

Tratamento Térmico

Composta por dois fornos de tratamento térmico do tipo “câmara”, para alívio de tensões e normalização.

Rebarbação e Controle de Qualidade

Composta por duas linhas de acabamento, onde são realizadas operações de rebarbação, esmerilhamento, calibração, controle de qualidade e proteção superficial (pintura ou oleação), em equipamentos dispostos ao longo de esteiras transportadoras de correias.

Usinagem

Composto por centrais de usinagem CNC, tornos universais, furadeiras múltiplas e rosqueadeiras.

Zincagem

Compõe-se de duas linhas mecanizadas.

O fluxograma do processo é demonstrado na Figura IV.7.

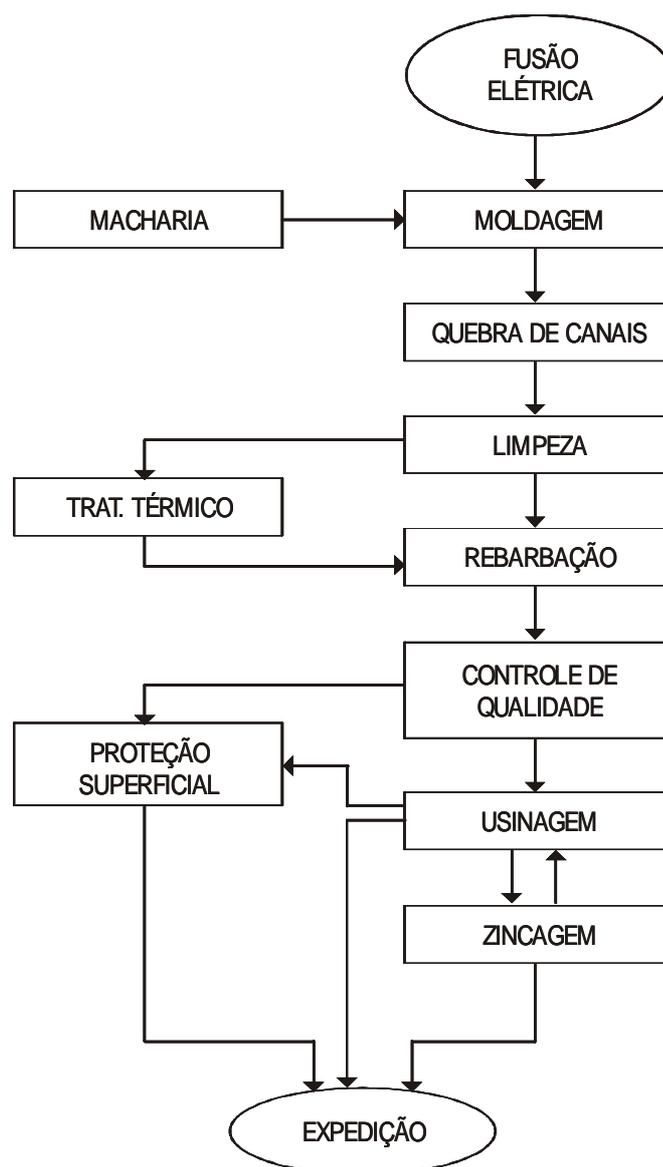


Figura IV.7 - Fluxograma do processo de fabricação – caso D
 Fonte: Dados primários (2005)

-O PCP: Estrutura e Processo

A programação da produção está ligada diretamente ao superintendente da unidade, numa função de *staff*. As funções de PCP são executadas por um setor denominado “Planejamento Industrial”, que é responsável pelo planejamento, programação e controle da produção e materiais, além de administrar o almoxarifado de materiais comprados e produtos em processo. Dois especialistas (um para a fundição e um para o acabamento/zincagem/usinagem) programam toda fábrica. O estoque de produtos acabados (conhecido como *expedição*), a programação de pedidos, os embarques, as embalagens, o faturamento e os

contatos com os clientes são atividades cuja responsabilidade cabe ao setor de administração de vendas, que está subordinado diretamente ao gerente comercial. As necessidades do que deve ser produzido são calculadas através do sistema ERP/MRP utilizado pela empresa, com a geração das ordens de produção para os itens que devem ser acabados para dar entrada na expedição e para os itens que devem ser moldados. Estas ordens são utilizadas pelos programadores para a elaboração dos programas de produção, em sistema específico desenvolvido internamente para o PCP.

Os apontamentos de produção realizados na fusão (carregamento dos fornos), na moldagem (moldes e peças produzidos por item), na macharia (machos produzidos por item), no tratamento térmico (peças tratadas), no acabamento (peças acabadas), na usinagem (peças usinadas por operação), na zincagem (t/peças zincadas) são executados pelo pessoal de produção, e no acabamento (entrada na expedição), pessoal de vendas. Os dados apontados são registrados, pelo pessoal do Planejamento, nas ordens de produção para dar entrada no sistema ERP/MRP e nas planilhas próprias utilizadas pelo PCP.

Nos arquivos do ERP/MRP encontram-se os seguintes cadastros no banco de dados:

- itens;
- pedidos;
- estrutura de produtos com os seguintes níveis: peça usinada, peça zincada, peça acabada, peça tratada, peça fundida, ferro líquido, macho, materiais específicos do produto (luvas e *chapelins*);
- roteiros de fabricação (não há roteiros alternativos);
- tempos-padrão das operações;
- padrões de peso: peça fundida, conjunto peça fundida + canais + massalotes (“árvore”) e peça acabada;
- lote mínimo (duas horas de produção na linha de moldagem);
- padrões de refugo.
- dias úteis, os turnos/dia; horas disponíveis/turno.

Os dados de estoques também se encontram nos arquivos do ERP/MRP

(produtos acabados na expedição e produtos em processo, sem especificar a fase produtiva onde se encontram). O estoque de machos não é controlado pelo sistema. É feito diariamente uma contagem (inventário físico) para identificar o estoque existente.

O processo para gerar o programa de produção é realizado em duas etapas. A primeira, que ocorre a cada início de mês, estabelece o programa-mestre mensal, a partir da carteira de pedidos, cujos volumes mensais para o setor automotivo são divididos em quantidades diárias. Para os itens destinados ao mercado externo, os períodos de entrega são firmados em função das datas previstas de atracamento de navios no porto de embarque. São calculadas as necessidades líquidas para as respectivas fases produtivas (fusão, moldagem, macharia, tratamento térmico e acabamento), a partir das quais são determinadas as necessidades de capacidade requeridas pelo programa mensal, inclusive mão-de-obra, que são comparadas com as capacidades disponíveis no período. Caso haja restrições (gargalos), o superintendente da unidade, com a gerência de produção, a gerência comercial e a coordenação do PCP definem ações específicas para minimizá-las e/ou para ajustar o programa-mestre mensal. A previsão de paradas de equipamentos para manutenção também é considerada pela programação da produção.

Neste passo, também são identificadas as necessidades de materiais que devem ser comprados, com base em índices históricos, as necessidades de liga metálica e estabelecidos quantos dias por semana serão necessários para produzir cada tipo de liga. A compra dos materiais que são específicos dos produtos, como filtros, luvas exotérmicas e *chapelins* é definida com base no programa de produção itenizado.

Na segunda etapa, com o programa-mestre mensal já devidamente ajustado, é elaborado o programa diário para cada um dos dias dentro de um horizonte de quatro dias, para as seguintes operações da fundição:

- fusão (tipo de liga metálica);
- moldagem (itens, quantidade de moldes);
- macharia (itens e quantidades);
- entrada na expedição (prioridade por itens e quantidade de peças).

As necessidades líquidas calculadas pelo sistema ERP/MRP são convertidas em número de moldes para cada linha de moldagem pelo programador de produção, para determinar o programa diário de cada linha (itens, quantidades, prioridades, datas), considerando a liga metálica e a capacidade de produção.

A sistemática utilizada para os ferramentais de fundição são similares aos relatados nos casos anteriores. Caso haja necessidade de manutenção mais prolongada, ou impedimentos relacionados ao processo metalúrgico, o setor encarregado pela manutenção e pelo processo comunica à programação da produção, formalmente, o impedimento do ferramental, com prazo para retorno.

O seqüenciamento das ligas na fusão é estabelecido através de uma matriz de *set-up*, que procura minimizar o tempo dispendido para a troca de liga nos fornos, já que a fusão é o gargalo de fundição. A matriz adotada nesta unidade apresenta a seguintes seqüência:

ferro fundido nodular → ferro fundido cinzento.

Para o seqüenciamento dos itens nas linhas de moldagem para cada tipo de liga programada no dia, o programador de produção considera critérios para definição dos itens (escolha das ordens) e fatores restritivos existentes ao longo de todo fluxo produtivo, através de procedimentos heurísticos.

O *lead-time* oscila entre um a 20 dias úteis entre a moldagem e a entrada na expedição (critério baseado na prática, dependendo das etapas do processo produtivo pelos quais o item passa), e de três dia entre a macharia e a moldagem. O programador adota as seguintes regras:

- atender as datas de conclusão dos programas (entrada na expedição);
- otimizar o uso do gargalo onde não há opções de alternativas;
- equilibrar a oferta de metal líquido com o demandado pela moldagem.

No caso específico desta unidade, por ocasião da pesquisa, a aplicação destas regras gerou o seguinte procedimento prático para estabelecimento do programa diário de moldagem:

Passo 1: sequenciar os itens priorizando o atendimento das datas de entrega na expedição;

Passo 2: manter supridas as instalações de zincagem (fundir pelo menos 30 t/dia de peças zincadas), um dos gargalos da unidade;

Passo 3: não exceder a capacidade da macharia (limitado ao número de horas disponíveis das máquinas de machos);

Passo 4: programar as trocas de liga (observando a matriz de *set-up*) no 3º. turno, que não está com todas linhas de moldagem lotadas;

Passo 5: observar abastecimento equilibrado das etapas do processo de fabricação que vêm após a fundição propriamente dita, como tratamento térmico, linhas de acabamento e usinagem. Eventuais gargalos nestas etapas podem ser minimizados através de industrialização externa. Atualmente 50% das horas de tratamento térmico, 20% das horas da rebarbação e 30% das horas da usinagem são contratadas mensalmente junto a terceiros.

Passo 6: programar peças leves no horário de ponta (restrição de energia) nas linhas de moldagem atendidas pela fusão indução;

Passo 7: programar alternadamente peças leves e peças pesadas em cada linha de moldagem fora do horário de ponta

Obs.: não há definição exata do que seja peça leve, peça média ou peça pesada – estes conceitos são aplicados subjetivamente pelo programador;

Uma vez definido o programa diário da moldagem, automaticamente também está definido o programa diário da macharia (os machos consumidos num dia são confeccionados com três dias de antecedência). O programador de produção, com base nos roteiros de produção no tempo-padrão, elabora o programa da macharia diário, para cada dos grupos de máquinas de machos, na seqüência estabelecida pelo programa da moldagem. O programa das demais etapas de produção (nas instalações próprias e nos terceiros) é orientado pelas prioridades das necessidades de entrada na expedição e pela disponibilidade do estoque de produtos em processo. Aspectos relacionados à *set-up* são preocupantes apenas na fusão (matriz para troca de liga). Na moldagem é considerada uma perda de 5 moldes por *set-up*, e nas demais etapas do processo de fabricação os equipamentos são dotados de dispositivos de troca rápida de ferramentas.

O horizonte de quatro dias foi determinado principalmente em função do *lead-time* e da necessidade de ajuste e manutenção dos ferramentais de fundição, que

são completamente revisados antes de entrar em produção. Alguns materiais comprados e que são específicos dos itens, como filtros, luvas exotérmicas e *chapelins*, também podem ter dificuldades de abastecimento a curto prazo. Durante este período, procuram evitar mudanças na programação, embora nem sempre seja possível, tanto em função de mudanças nas necessidades dos clientes, como em função do não cumprimento das metas acordadas devido a problemas internos.

Há uma interação constante e intensa entre os funcionários da administração de vendas e do planejamento. Além de uma reunião diária para determinar medidas preventivas e corretivas em função do desempenho da produção, dos terceiros e do atendimento ao programa, são analisados também ajustes para equacionar prioridades relacionadas às necessidades da clientela e da chegada de navios para embarque de produtos para o mercado externo.

O desempenho é analisado diariamente tendo como referência relatórios que comparam o volume programado com o realizado, em bases diárias e mensais, e os atrasos de programa, na moldagem, na macharia, na usinagem, na zincagem e na entrada da expedição.

A maior dificuldade relacionada ao PCP diz respeito ao cumprimento das datas acordadas para o embarque aos clientes. O índice de pontualidade de entregas está na ordem de 80%, considerado deficiente. Este desempenho é atribuído à não determinação correta do *lead-time*, dado a diversidade de itens e etapas de fabricação, que conduzem, em alguns casos, à programação muito tardia da peça na moldagem.

O fluxograma do PCP é apresentado na Figura IV.8.

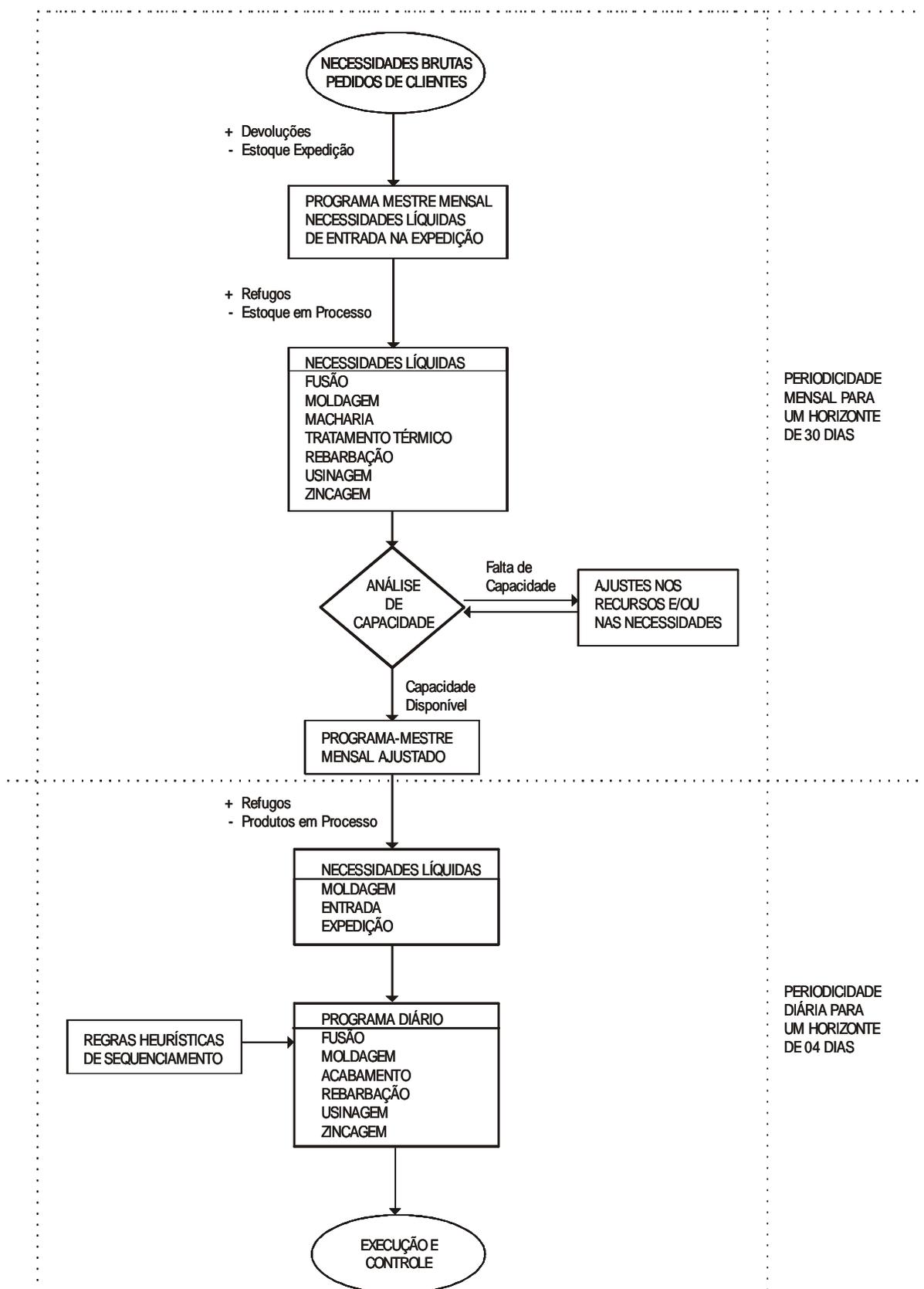


Figura IV.8 - Fluxograma do PCP – caso D
Fonte: Dados primários (2005)

4.5 Análise Comparativa e Reflexões sobre os Casos Estudados

Comparando-se os quatro casos analisados, percebe-se vários aspectos comuns e outros bastante diferenciados. Todas as unidades que participaram da amostra pesquisada são fundições de mercado, isto é, produzem sob encomenda produtos especificados por terceiros, e pertencem a grupos empresariais nacionais. A maior parcela de mercado está concentrado na indústria automotiva tanto do país como do exterior. A indústria automotiva se caracteriza por procurar estabelecer contratos a longo prazo com seus fornecedores, com volumes significativos, sem grandes oscilações de demanda, gerando conseqüentemente programas mais estáveis. Os casos A e B são unidades que atendem a segmentos diferenciados da indústria automotiva, com processos produtivos e procedimentos de PCP diferenciados. O caso C apresenta a linha de produtos mais homogênea, com praticamente um tipo de produto que varia unicamente nas dimensões, e um processo de produção com menos etapas no fluxo. O caso D apresenta-se como mais complexo, com um número de itens muito maior com menores volumes por item, um processo de produção com mais etapas para vários itens, o que provoca *lead-times* com diferenças muito significativas, e com expressiva participação no mercado de energia elétrica, cuja demanda depende muito de investimentos públicos, e por conseguinte, não apresenta uma regularidade em suas encomendas, tornando mais difícil a tarefa do PCP.

Sob o aspecto organizacional do PCP, o caso A e o caso B apresentam similaridade em suas estruturas, com a programação a curto prazo intimamente ligada ao setor de produção, enquanto que a administração dos pedidos, o relacionamento com o cliente e o planejamento das compras é realizado por outros órgãos. O caso C, pela sua simplicidade, permite que a programação a curto prazo seja elaborada pelo pessoal de produção. No caso D, além da maior complexidade do processo produtivo, menor constância nas quantidades encomendadas, o órgão ainda é responsável pelo planejamento das compras, dimensionamento dos estoques de matérias-primas e administração do almoxarifado.

Não obstante essas diferenças, há vários pontos comuns. No que diz respeito aos suprimentos, a grande maioria de matérias-primas e materiais de processo são os mesmos para todos os itens, com as previsões de consumo sendo realizadas através de índices vinculados ao volume de produção, havendo preocupação maior

apenas nos componentes comprados que são específicos dos itens, como *chapelins*, luvas e filtros. Não há roteiros alternativos e em todos os casos estudados, a empresa possui um sistema ERP/MRP, onde são geradas as ordens de produção para a moldagem e a entrada na expedição. No MRP já é definida a política de lote. As ordens de produção são convertidas em programas de produção por meio de operações em sistemas específicos, em planilhas e mesmo manualmente. Nos casos A, C e D, a elaboração do programa de produção a curto prazo é feito em duas etapas. A primeira, com periodicidade mensal e um horizonte de 30 dias, objetiva identificar as necessidades de capacidade, planejar o uso dos recursos e determinar o regime de operação dos fornos com cada liga, e a segunda, com periodicidade diária, é gerar o programa de produção diário para um horizonte de quatro a cinco dias. No caso B, existe ainda uma etapa intermediária, onde é elaborado o programa diário para um horizonte mensal.

O procedimentos a curto prazo do PCP, as regras heurísticas e os parâmetros utilizados também apresentam uma semelhança muito grande. A prioridade primeira, comum a todos os casos estudados, é atender as quantidades compromissadas com os clientes nas datas apazadas, com máximo aproveitamento da capacidade produtiva, requerendo uma eficiente utilização dos gargalos. Caso um gargalo esteja sub-utilizado, a regra é antecipar ordens até o limite de sua capacidade. Os aspectos ressaltados na revisão de literatura, relativamente à dificuldade da programação conjunta do forno (fusão), processo com características de sistema de produção contínua, com a moldagem, cujas características são de um sistema de produção repetitivo em lotes, estão presentes em todos os casos estudados. A solução do problema está em conseguir equilibrar a oferta de metal líquido (fusão) com a demanda (consumo da moldagem), através de uma combinação adequada de peças leves, peças de peso médio e peças pesadas, que os programadores de produção tentam conseguir. Este problema fica mais crítico quando há restrições de energia elétrica no horário de ponta, como ocorre nos casos B e D. Nestes casos existe ainda um complicador adicional, pois são fundidas mais de uma liga. Como a fusão é gargalo, e como os tempos de *set-up* são dependentes da seqüência, para minimizar a perda de produção são utilizadas matrizes de *set-up* para seqüenciar a troca de liga nos fornos.

Um aspecto interessante, observado nos casos A, B e D, é o da subjetividade na atribuição do conceito “peça leve”, “peça média” e “peça pesada”, chave para o

equilíbrio da fusão com a moldagem para os itens em fabricação. Todavia, este fato não chega a ser surpreendente, pois como afirmam King e Mamdani (1977), *apud* Almeida e Evsukoff (2003), as ações de controle dos especialistas são freqüentemente erráticas, inconsistentes ou sujeitas a erro em virtude da natureza imprecisa dos processos de decisão humanos, tornando difícil a interpretação da atividade de maneira precisa.

Ainda nos casos A e D podem ocorrer, em face de mudanças no sortimento dos itens (*mix* de produção), gargalos variáveis em outras etapas produtivas, como macharia, tratamento térmico, usinagem e zincagem, os quais devem ser detectados com antecedência para um equacionamento adequado das medidas para neutralizá-los ou minimizá-los. De qualquer forma, a programação da fusão/moldagem procura respeitar estas limitações.

O maior problema apontado pelos especialistas da programação de produção reside nas reprogramações que são necessárias durante o período considerado com “fixo” (menos de cinco dias), por requerer muitas mudanças que precisam ser ajustadas manualmente, e que devem ser compartilhados com os vários órgãos de operação em tempo hábil. No caso D, foi identificada como maior dificuldade o atendimento aos prazos acordados com os clientes, o que pode estar ligado à grande variabilidade e determinação empírica do *lead-time*.

Em suma, o sistema de PCP em todos casos estudados, apresenta como lógica básica o cálculo de recursos, o atendimento aos clientes como prioridade principal, a administração de restrições múltiplas (uso eficiente dos gargalos, com antecipação de ordens) e a utilização de procedimentos heurísticos para a programação a curto prazo, que podem ser assim sintetizados:

Passo 1: sequenciar os itens na moldagem priorizando o atendimento das datas de entrega na expedição;

Passo 2: programar as trocas de liga observando a matriz de *set-ups*;

Passo 3: reprogramar a moldagem com antecipação de ordens para permitir utilizar ao máximo os recursos críticos, garantindo o abastecimento de fundidos para os gargalos pós-fusão/moldagem, porém respeitando as limitações da macharia (pré-moldagem) e da própria moldagem;

Passo 4: programar peças leves no horário de ponta (restrição de energia) nas linhas de moldagem atendidas pela fusão;

Passo 5: programar uma combinação adequada de peças leves, peças médias

e peças pesadas nas linhas de moldagem fora do horário de ponta, de forma a obter uma demanda de metal líquido a mais constante possível.

O quadro IV.1 apresenta uma síntese da análise comparativa dos casos estudados.

Quadro IV.1- Síntese da análise comparativa dos casos estudados

Fatores	Caso A	Caso B	Caso C	Caso D
Produtos	Produtos automotivos especificados por terceiros	Produtos automotivos especificados por terceiros	Produtos automotivos especificados por terceiros e produtos normalizados	Produtos automotivos e para a industria do material elétrico especificados por terceiros
Sistema de gestão	ERP/MRP	ERP/MRP	ERP/MRP	ERP/MRP
Ligas metálicas em produção Na fusão	Uma	Três Usa matriz de <i>set-up</i>	Uma	Duas Usa matriz de <i>set-up</i>
Restrições de energia elétrica	Não	Sim	Não	Sim
Roteiros alternativos	Não	Não	Não	Não
Localização do PCP na estrutura organizacional	Ligado à produção	Ligado à produção	Ligado à produção (executado pelo pessoal de produção)	Órgão independente com agregação de mais atividades logísticas
Programa de Produção a curto prazo	Mensal com reprogramação diária	Mensal com reprogramação diária	Mensal com reprogramação diária	Mensal com reprogramação diária
Regras Heurísticas	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Dados primários (2005)

Na figura IV.9 é demonstrado um modelo geral que representa a configuração do PCP nas fundições pesquisadas, onde se procurou contemplar todas particularidades observadas nos casos estudados.

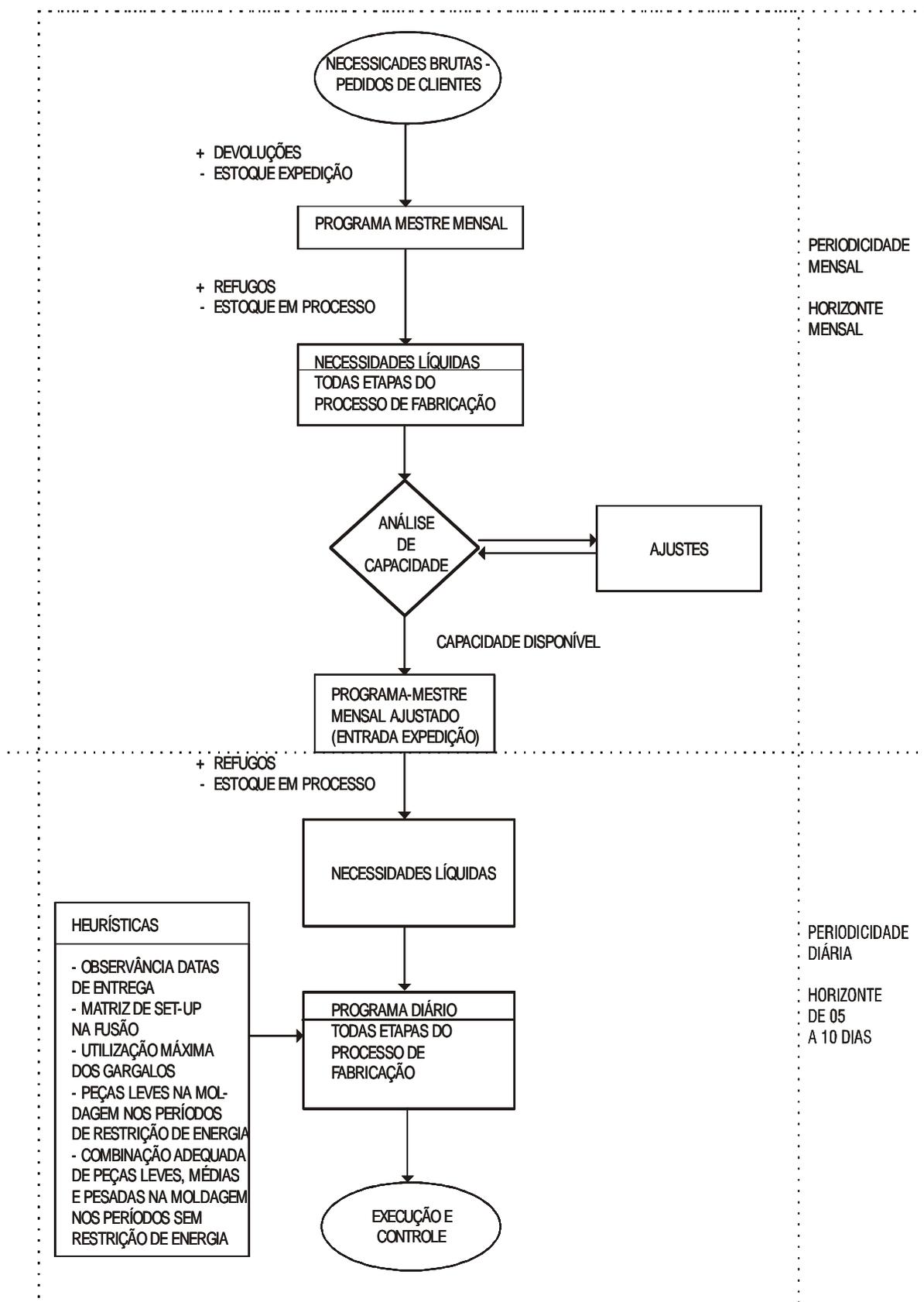


Figura IV.9 - Configuração genérica de um PCP nas fundições
 Fonte: Dados primários (2005)

As fundições visitadas, bem como os sistemas disponíveis no mercado de planejamento da produção com capacidade finita (APS), desenvolveram soluções para estes procedimentos heurísticos. Entretanto, para a programação da fusão e da moldagem (passos 4 e 5), as soluções deixam a desejar, pois estão alicerçadas unicamente na subjetividade das pessoas. É um problema mal resolvido pelos especialistas em programação nas fundições visitadas, agravado pela necessidade de reprogramações constantes a curto prazo, em decorrência da dinâmica do ambiente.

No decorrer dos trabalhos a preocupação para alcançar os objetivos propostos desta tese esteve constantemente presente. A revisão de literatura trouxe informações relevantes nesse sentido e permitiu um estudo norteador dos casos apresentados e a possibilidade de se propor uma metodologia heurística com base na lógica *fuzzy* que ofereça uma solução para a programação conjunta da fusão e da moldagem. Esta metodologia será explicitada no próximo capítulo desta tese.

5 MODELO HEURÍSTICO PROPOSTO PARA A PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM FUNDIÇÕES BASEADO NA LÓGICA *FUZZY*

A construção do modelo heurístico para o seqüenciamento de ordens de produção para a programação conjunta da fusão e da moldagem, teve origem no diagnóstico elaborado a partir do estudo dos casos, amparado pela revisão de literatura.

Este procedimento, baseado na lógica *fuzzy*, está inserido na estrutura básica do sistema de PCP, e para desenvolver o modelo segundo a estrutura dos sistemas nebulosos, que compreende a descrição do conjunto de regras lingüísticas, a definição das funções de pertinência (valores das variáveis lingüísticas), e o estabelecimento do mecanismo de inferência para manipulação das regras e para a tomada de decisões, com definição das interfaces de entrada e saída do sistema, foi seguido roteiro apresentado por Nobre (2000).

O modelo heurístico foi implantado em uma planilha Excel e, com utilização de linguagem de macro Visual Basic (VBA), foi criada uma programação para executar as funções requeridas pela estrutura do modelo e replicar tarefas repetitivas. Uma vez escrito o programa para produzir o primeiro relatório, a rotina pode entrar em *loop* para produzir tantos relatórios quantos necessários e com muita velocidade. (JELEN e SYRSTAD, 2004)

A função deste modelo é sistematizar os procedimentos heurísticos utilizados pelas fundições para a programação da produção a curtíssimo prazo, identificados na coleta de dados dos casos estudados, e que se referem a:

- programar peças leves no horário de ponta (quando há restrição de energia) nas linhas de moldagem atendidas pela fusão;
- programar uma combinação adequada de peças leves, peças de peso médio e peças pesadas nas linhas de moldagem fora do horário de ponta, de forma a obter uma demanda de metal líquido a mais constante possível ao longo de uma jornada de trabalho.

Desta forma, as ordens de produção (itens e quantidades programadas) do programa diário da fundição gerado pelo PCP, serão sequenciadas de forma a proporcionar uma solução conjunta para a fusão e a moldagem.

A primeira parte deste capítulo descreve a modelagem e o comportamento do

modelo com base a uma fundição específica, cujas condições ambientais foram retratadas, inseridas num sistema *fuzzy* e implantadas na planilha eletrônica, para possibilitar a realização de testes e simulações.

Na segunda parte, é demonstrada uma versão mais avançada do modelo, que foi:

a) generalizado de forma a ter sua aplicabilidade permitida em fundições com características diversas;

b) flexibilizado para aceitar diferentes parâmetros para os limites máximos e mínimos dos conjuntos *fuzzy*, ampliando, assim, consideravelmente o número de alternativas de simulações.

Finalmente, na terceira parte são apresentados os resultados práticos com aplicação deste modelo generalista na fundição estudada, comparando-se os resultados dos programas de produção de vários dias gerados pelo profissional de programação da fundição, com os resultados dos programas de produção gerados pelo modelo heurístico proposto.

5.1 Construção do Modelo Heurístico para a Programação da Produção da Fundição

A modelagem inicial foi feita com os dados reais de uma das fundições estudadas, com alguns ajustes para evitar sua identificação e divulgação para o meio externo (sigilo empresarial), que, todavia, não comprometeram a simulação e a análise dos resultados em confronto com a realidade do ambiente.

As características básicas desta fundição são as seguintes:

- três linhas de moldagem;
- uma única liga metálica;
- não há restrições de energia elétrica no horário de ponta;
- a fusão é recurso restritivo (gargalo);
- necessidade de combinação adequada de peças leves, peças de peso médio e peças pesadas simultaneamente em produção, para aproveitar o máximo da capacidade da fusão e da moldagem durante uma jornada de trabalho.

Para ilustrar esta combinação de peças leves, de peso médio e pesadas, pode-se fazer uma analogia do processo de fundição com o de uma fábrica de

bebidas, que possui uma unidade geradora de bebida (fusão) e linhas de envasilhamento (linhas de moldagem) com garrafas de volume variável (moldes), que são envasadas simultaneamente de forma contínua e a uma velocidade constante. Se houver somente garrafas “grandes” naquele momento em todas as linhas, é possível que as linhas de envasilhamento tenham que parar porque a unidade produtora de bebida não consegue atender a demanda, por falta de capacidade. Se naquele momento, porém, houver somente garrafas “pequenas”, é possível que a unidade geradora de bebida tenha que paralisar sua produção porque há excesso de oferta em relação à demanda. Todavia, se houver uma combinação adequada de garrafas “grandes” e “pequenas” naquele momento, é possível tanto à unidade geradora de bebida como às linhas de envasilhamento operarem sem interrupção, portanto, com a máxima eficiência.

Neste trabalho, foram adotadas as seguintes convenções para caracterizar o peso das peças (no jargão dos fundidores, o peso da peça refere-se ao peso do conjunto peça fundida + canais + massalotes, também conhecido como “árvore”):

L = leve (peças leves);

M = média (peças de peso médio);

P = pesada (peças pesadas).

A construção do modelo heurístico segundo a lógica *fuzzy* compreendeu as seguintes etapas:

a) descrição da base de regras lingüísticas para peças simultaneamente em produção nas três linhas de moldagem, determinada pelas alternativas de combinações utilizadas pelo programador de produção (especialista humano), e por este informada:

-se houver uma peça leve e uma média então a terceira poderá ser pesada;

ou

-se houver uma peça leve e uma média, então a terceira poderá ser média também;

ou

-se houver uma peça leve e mais uma leve, então a terceira poderá ser pesada;

- ou
 -se houver uma peça leve e uma pesada, então a terceira poderá ser pesada também;
- ou
 -se houver uma peça média e mais uma média, então a terceira poderá ser média também;
- ou
 -se houver uma peça média e uma pesada, então a terceira poderá ser média também.

Estas regras geraram várias alternativas de combinações recomendáveis (permitidas) de peças simultaneamente em produção nas três linhas de moldagem, segundo a ótica do especialista, conforme demonstrado no Quadro IV.2.

Quadro IV.2 – Combinações recomendáveis de peças simultaneamente em produção nas três linhas de moldagem

LINHA 1	LINHA 2	LINHA 3	COMBINAÇÕES
L	M	P	Uma leve, uma média e uma pesada
L	P	M	
M	L	P	
M	P	L	
P	L	M	
P	M	L	
L	P	P	Uma leve e duas pesadas
P	L	P	
P	P	L	
M	M	P	Duas médias e uma pesada
M	P	M	
P	M	M	
L	M	M	Uma leve e duas médias
M	L	M	
M	M	L	
L	L	P	Duas leves e uma pesada
L	P	L	
P	L	L	
M	M	M	Três médias

Fonte: Dados primários (2005)

Por outro lado, as regras geraram também alternativas de combinações não-recomendáveis (condições de rejeição), como apresentado no Quadro IV.3.

Quadro IV.3 – Alternativas de combinações não-recomendáveis (condições de rejeição)

LINHA 1	LINHA 2	LINHA 3	COMBINAÇÕES
L	L	L	Três leves
L	L	M	Duas leves e uma média
L	M	L	
M	L	L	
P	P	P	Três pesadas
M	P	P	Uma média e duas pesadas
P	M	P	
P	P	M	

Fonte: Dados primários (2005)

b) definição dos limites máximos e mínimos (Max-Min) dos conjuntos *fuzzy* para cada uma das três linhas de moldagem:

Os itens de cada linha foram divididos em três classes, de forma que cada conjunto ficou com a mesma quantidade de itens. O critério para dividir o universo de itens de uma linha em três conjuntos com o mesmo número de itens foi completamente aleatório, uma vez que os critérios utilizados pelo especialista humano eram demasiadamente subjetivos para caracterizar o que é peça leve, peça média e peça pesada.

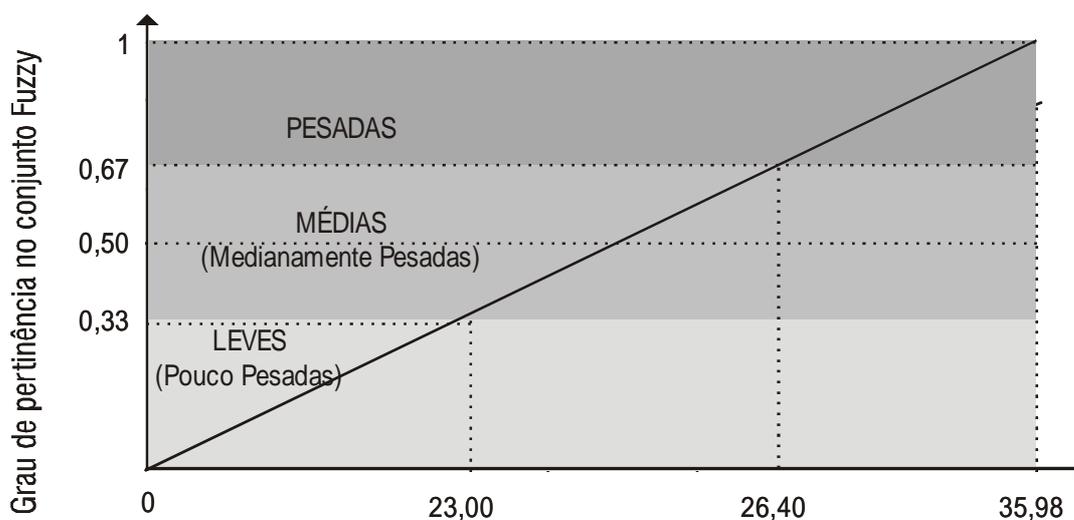
Os itens de cada linha foram ordenados de acordo com o peso da árvore (do menor para o maior e classificados em leves (L), que correspondem portanto a 1/3 dos itens, médias (M), que correspondem também a 1/3 dos itens, e pesadas (P), que correspondem igualmente a 1/3 dos itens de cada linha. É importante salientar que cada conjunto de itens é específico para determinada linha, portanto, as linhas são focadas. Assim, os itens leves de uma linha não são os itens leves de outra linha, ocorrendo o mesmo com os itens de peso médio e os itens pesados. Os limites Max-Min para cada conjunto de cada linha estão demonstrados na tabela V.1.

Tabela V.1 - Conjuntos *fuzzy* equivalentes do universo de números da variável
“peso da árvore”

Conjuntos <i>Fuzzy</i>	Linha I – peso árvore	Linha II- peso árvore	Linha III– peso árvore
L (leve)	< 23,00 kg	< 21,80 kg	< 23,34 kg
M (media)	> 23,34 kg <26,40 kg	> 22,37 kg <26,92 kg	> 23,94 kg <30,96 kg
P (pesada)	>26,41 kg < 35,98 kg	>27,00 kg < 35,00 kg	>30,98 kg < 46,32 kg

Fonte: Dados primários (2005)

Os dados também podem ser apresentados graficamente, como demonstrado na figura, referentes à linha I, tomados como exemplo.



Universo de discurso da variável lingüística representando o pêso (em kg) da árvore

Figura V.1 - Funções de inferência *fuzzy* da linha I

Fonte: Dados primários (2005)

c) definição das interfaces de entrada e saída e criação do mecanismo de inferência:

Foram mapeadas as informações numéricas do ambiente para serem inseridas

no sistema *fuzzy* do modelo heurístico (interface de entrada), constituídas por valores caracterizados pelas funções de pertinência, isto é, dentro dos limites Max-Min de cada conjunto nebuloso L (leve); M (média), P (pesada). Com isso, ocorreu a transformação de informações quantitativas em qualitativas (*fuzzycation*).

Além dessas informações, através da interface de entrada é fornecido o programa de produção para um dia de 24 horas (itens e quantidades de moldes programados, ordenados por linha de moldagem em ordem de código de item) e outros dados, de forma a permitir a manipulação das regras e avaliação do resultado do modelo, como:

- código de cada item;
- peso da árvore;
- moldes/hora;
- kg/hora demandado.

A tabela V.2 demonstra um programa diário de produção a ser sequenciado.

Tabela V.2 – Programa de produção a ser sequenciado

Programação do Dia					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
Capac(mol/h)	300	capac(mol/h)	270	capac(mol/h)	250
Código	quant(mol.)	Código	quant(mol.)	Código	quant(mol.)
101	600	208	1600	306	500
122	430	220	1600	315	1000
126	4300	229	1300	329	1100
185	1060	244	1200	331	500
186	470	245	700	332	600
				348	1000
				351	900

Fonte: Dados primários (2005)

A tabela V.3 demonstra a planilha dos dados de entrada.

Tabela V.3 – Dados de entrada no sistema heurístico

ITEM	LIGA	PECASPLA	CONJUNTO	ARVORE	MOLHORA	KGHORA	RARVORE	TIPO
334	0	8	1,78	14,20	250	3550	1	L
311	0	4	3,80	15,18	250	3795	2	L
310	0	4	3,87	15,46	250	3865	3	L

Fonte: Dados primários (2005)

O mecanismo de inferência foi estabelecido através de heurísticas de factibilização, que são procedimentos definidos para manipular as regras e tomar decisões. (SILVEIRA e MORABITO, 2002)

Foram definidas aleatoriamente, como ponto de partida, duas heurísticas de factibilização alternativas:

- Tipo 1: determina o seqüenciamento do programa realizando uma ordenação crescente da linha que tem mais peças leves (do L para o M, e do M para o P) e uma ordenação decrescente da linha que tem mais peças P (do P para o M, e do M para o L). A terceira linha permanece ordenada pela sequencia dos códigos dos itens.

A figura V.2 representa esta heurística.

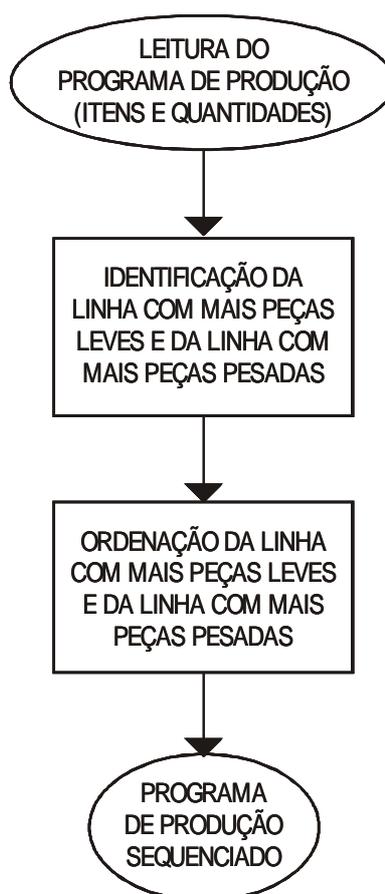


Figura V.2 – Heurística de factibilização do tipo 1
Fonte: Dados primários (2005)

- Tipo 2: verifica a ocorrência de combinações não recomendadas (condições de rejeição) de itens simultaneamente em produção. Identificada a condição de rejeição, o item que a provocou é remanejado para o final do dia, e os demais itens são antecipados. São feitas novas comparações com a base de regras, repetindo-se a operação até eliminar as condições de rejeição, ou acabarem as alternativas de remanejamento. Na hipótese da condição de rejeição se manifestar já no primeiro momento, a escolha do item a remanejar é aleatória, através de número randômico gerado pela planilha.

Esta heurística é representada na figura V.3.

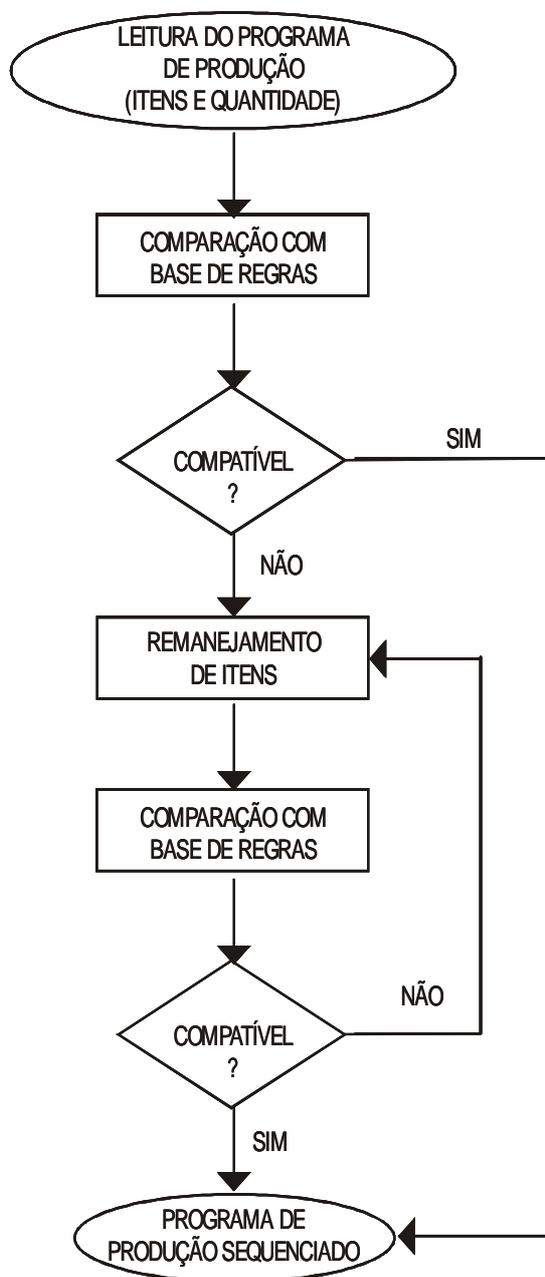


Figura V.3 – Heurística de factibilização do tipo 2
Fonte: Dados primários (2005)

A interface de saída faz o mapeamento inverso à entrada (*defuzzycation*), e apresenta as informações qualitativas transformadas em qualitativas (combinação resultante de peças leves (L), médias (M), e pesadas (P), bem como informações quantitativas (pêso demandado de metal pelas linhas de moldagem, em kg/hora). O

resultado é apresentado em planilha, com intervalos de 15 minutos para um dia de 24 horas (o intervalo de 15 minutos foi determinado aleatoriamente, por ter sido julgado adequado para identificar as variações ao longo do dia). As condições de rejeição não resolvidas são destacadas com atribuição de diferentes cores na planilha.

Dados apresentados na planilha, por linha:

- hora (com intervalo de 15 minutos);
- código do item;
- tipo (conjunto *fuzzy* a que este item pertence: L, M ou P);
- peso/hora demandado;
- combinação dos tipos (conjuntos *fuzzy*);
- peso total demandado.

A tabela V.4 apresenta parcialmente a planilha com o resultado final.

Tabela V.4 – Dados parciais do seqüenciamento de um programa de produção obtido em heurística baseada na lógica *fuzzy*

	Programação do Dia										Total
	Linha 1			Linha 2			Linha 3				
Hora	código	tipo	peso/h	código	tipo	peso/h	código	tipo	peso/h	tipos	peso/h
00:00	122	M	5942	220	P	7474	315	M	7847	MPM	21263
00:15	122	M	5942	220	P	7474	315	M	7847	MPM	21263
00:30	122	M	5942	220	P	7474	315	M	7847	MPM	21263
00:45	122	M	5942	220	P	7474	315	M	7847	MPM	21263
01:00	122	M	5942	220	P	7474	315	M	7847	MPM	21263

Fonte: Dados primários (2005)

Este resultado também pode ser apresentado de forma compactada, conforme demonstrado na Tabela V.5.

Tabela V.5 – Seqüenciamento do programa de produção obtido em heurística baseada na lógica *fuzzy* – apresentação compactada

PROGRAMAÇÃO DO DIA (SEQUENCIADA)					
LINHA I		LINHA II		LINHA III	
capac(mol/h)	300	capac(mol/h)	270	capac(mol/h)	250
Código	quant(mol.)	código	Quant(mol.)	Código	quant(mol.)
122	430	208	1060	315	1000
126	4300	220	1600	329	1100
101	600	229	1300	331	500
186	470	244	1200	332	600
185	1060	245	700	348	1000
				351	900
				306	500

Fonte: Dados primários (2005)

Pela falta de meios de acompanhamento, em função da subjetividade do trabalho do especialista de PCP na fundição para sequenciar as ordens de produção do programa de moldagem, não foram identificados na pesquisa indicadores de desempenho para avaliar o seqüenciamento gerado para o programa conjunto da fusão com a moldagem.

Dessa forma, foram criados indicadores, julgados adequados, para avaliar o seqüenciamento do programa:

- desvio-padrão em relação à média do peso total demandado;
- quantidade de *set-ups* durante um dia de 24 horas;

Ainda como recurso de análise adicional, foi acrescentada a possibilidade de gerar na planilha a visualização gráfica do resultado obtido em termos de peso total de metal demandado pelas linhas de moldagem em um dia de 24 horas, conforme pode ser observado na Figura V.4.

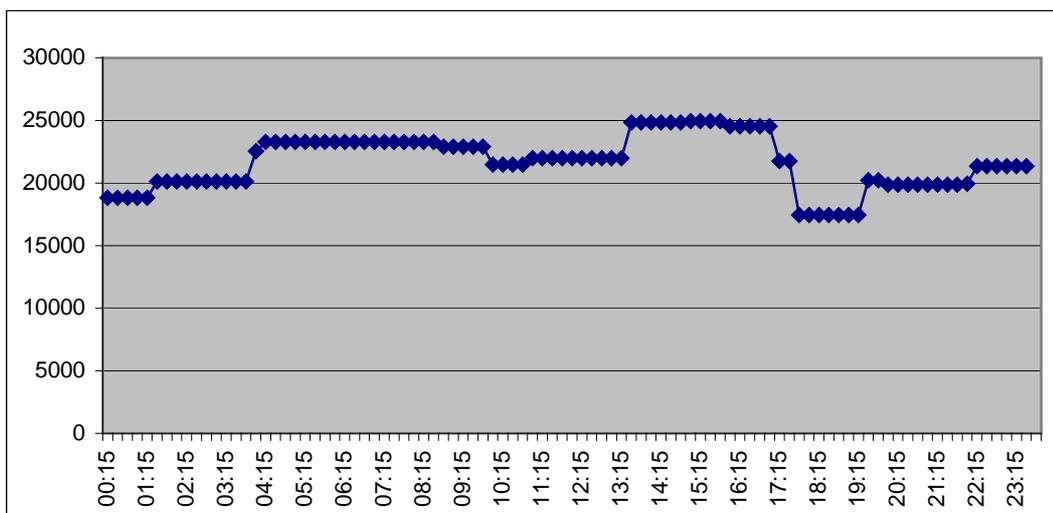


Figura V.4 Demanda de metal líquido (kg/hora) ao longo de uma jornada de trabalho
 Fonte: Dados primários (2005)

Foram realizados várias simulações e testes com este modelo na planilha, tendo sido observados alguns pontos de aprimoramento. Como estava prevista uma nova versão para generalizar a aplicação do modelo, estes pontos já foram incorporados nesta nova versão. Este assunto será apresentado no próximo tópico deste capítulo.

5.2 Generalização do Modelo Heurístico para a Programação da Produção da Fundição

Diante da funcionalidade apresentada pelo modelo, e considerando a diversidade das características das fundições existentes, este foi modificado para permitir a inclusão de dados, parâmetros e funções adicionais, de forma a flexibilizá-lo e generalizar a sua utilização.

Dessa forma, foram mantidas todas as condições anteriores do modelo, com acréscimos de alguns aperfeiçoamentos:

- regras lingüísticas e heurísticas de factibilização para um número variável de linhas de moldagem;
- regras lingüísticas para períodos de restrição de energia, que ocorre nas

fundições que utilizam fornos elétricos nos fornos de fusão;

- possibilidade de definir diferentes critérios para os limites Max-Min dos conjuntos *fuzzy* e disponibilidade de opções para estabelecimento dos limites;
- indicação no programa seqüenciado (compactado), do conjunto *fuzzy* a que pertence o item;
- avaliação de desempenho do seqüenciamento gerado pelo modelo através de indicadores adicionais:
 - tempo em que prevaleceu uma condição de rejeição não resolvida durante um dia de trabalho;
 - produção perdida no recurso gargalo ao longo de uma jornada.

Assim, para atender a um número variável de linhas de moldagem, foram criadas regras para as seguintes situações:

a) se houver um número par de linhas de moldagem

Na aplicação da heurística de factibilização do tipo1 (ver tabela V.2, p. 162), em metade das linhas é realizada a ordenação crescente dos itens pelo peso das peças (leve para pesado) e na outra metade das linhas a ordenação é feita de forma decrescente (pesado para leve).

Na utilização da heurística de factibilização do tipo 2 (ver tabela V.3, p. 163), é verificada a ocorrência de horários com condição indicativa de rejeição de acordo com o tipo L, M ou P. Confirmada a ocorrência, o item programado que causou a ocorrência é remanejado para o final do programa da linha. Esta operação pode ser repetida enquanto houver ocorrências de rejeição ou cessarem as alternativas de troca.

b) se houver um número ímpar de linhas de moldagem

Na aplicação da heurística do tipo 1, a ordenação crescente é realizada na metade das linhas menos 1, e a outra metade das linhas é ordenada decrescentemente.

Na heurística de tipo 2, o procedimento é idêntico ao descrito para o tipo 1.

Outra regra incorporada ao modelo refere-se ao aspecto da redução da oferta de energia elétrica em determinado período do dia (horário de ponta). Se o forno utilizar este insumo energético, há uma redução na capacidade de fusão, e assim deverão ser programadas as peças mais leves na moldagem. Dessa forma, foram geradas regras lingüísticas para contemplar esta situação:

- se o horário é de ponta, então as peças em produção devem ser leves;
- se o horário é de ponta, e não houver peças leves, então as peças em produção devem ser médias;
- se o horário é de ponta, e não houver peças leves e nem médias, então as peças em produção devem ser pesadas.

Para possibilitar um maior número de simulações na utilização do modelo, foi introduzida a opção de alterar os limites dos pesos das peças para os conjuntos *fuzzy*. Existem também três opções de critérios diferentes para aplicar os limites:

- a) ordena por peso todos os itens codificados nos diversos arquivos das linhas de moldagem, aplicando os indicadores *fuzzy* em função dos limites definidos, conjuntamente desde o item de menor peso de todas as linhas até o item de maior peso de todas as linhas.

O exemplo a seguir ilustra a aplicação deste critério:

supondo que os ítems da Linha 1 tenham peso de 5 a 20 kg; os da Linha 2 de 10 a 25 kg; e os da Linha 3 de 5 a 35 kg, para determinar os limites dos conjuntos *fuzzy* adota-se o seguinte procedimento:

$$35 - 5 = 30$$

$$30 / 3 = 10$$

$$5 + 10 = 15 \text{ (de 5 a 15 kg todas peças são leves)}$$

$$15 + 10 = 25 \text{ (de 15 a 25 kg todas peças são médias)}$$

$$25 + 10 = 35 \text{ (de 25 a 35 kg todas peças são pesadas)}$$

- b) realiza a aplicação dos indicadores *fuzzy* em função dos limites definidos pelo peso dos itens em cada arquivo das linhas de moldagem

isoladamente.

O procedimento é semelhante ao utilizado no caso anterior, com a diferença que se consideram os pesos mínimos e máximos de cada linha isoladamente. Assim, utilizando os mesmos dados do exemplo do critério anterior, para a determinação dos limites dos conjuntos *fuzzy* para a Linha 1, teremos:

$$20 - 5 = 15$$

$$15 / 3 = 5$$

$5 + 5 = 10$ (de 5 a 10 kg todas peças da Linha 1 são leves)

$10 + 5 = 15$ (de 10 a 15 kg todas peças da Linha 1 são médias)

$15 + 5 = 20$ (de 15 a 20 kg todas peças da Linha 1 são pesadas).

Para as Linhas 2 e 3 aplica-se o mesmo processo, com dados específicos de cada linha.

- c) mantém os limites medianos estabelecidos em função da quantidade de itens, adotando-se os critérios demonstrados na Tabela V.1, p.161.

Com todas essas implementações, o modelo heurístico para a programação conjunta da fusão e da moldagem, baseado na lógica *fuzzy*, apresenta a estrutura mostrada na figura V.5. Os resultados da aplicação prática serão demonstrados no tópico seguinte.

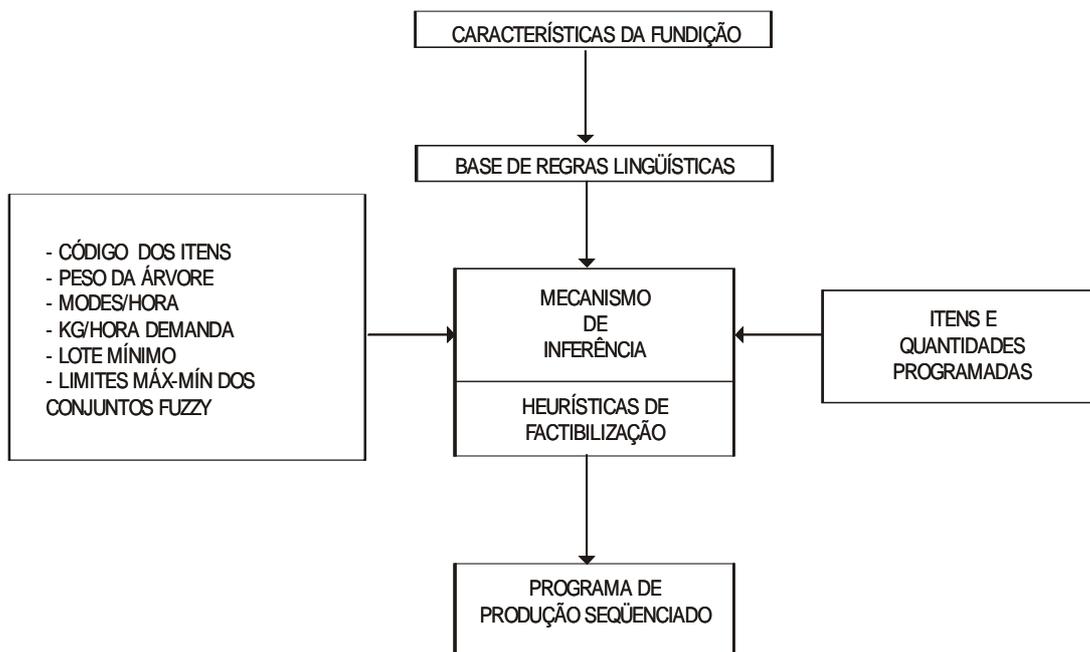


Figura V.5 – Estrutura do modelo heurístico baseado na lógica *fuzzy*
 Fonte: Adaptado de Nobre (2000)

A operacionalização do modelo na planilha eletrônica está descrita no Apêndice B, na p. 200.

5.3 Aplicação Prática e Resultados do Modelo Proposto

A aplicação prática do modelo consistiu na realização do seqüenciamento de itens durante quatro dias de programação de uma das fundições pesquisadas. Assim, foram fornecidas as necessidades (itens e quantidades) para cada um destes quatro dias: 12/4; 13/4; 14/4 e 15/4 (os programas são reais, mas as datas são fictícias).

Essas necessidades foram processadas na planilha com o modelo proposto, utilizando as três opções de limites *fuzzy* para cada uma das heurísticas de factibilização (tipo 1 e tipo 2), tendo sido gerado um programa de produção para cada uma destas alternativas. Cada alternativa teve seu desempenho mensurado

pelos indicadores definidos para avaliar o desempenho do programa:

- desvio-padrão da demanda de metal em relação à média;
- número de *set-ups*;
- tempo em que prevaleceram condições de rejeição às regras lingüísticas durante uma jornada de 24 horas;
- percentual de perda de capacidade por não utilização adequada do gargalo.

Também o programa gerado empiricamente pelo programador de produção (especialista da fundição) foi avaliado frente aos mesmos indicadores.

Para os dias 12/4, 13/4 e 14/4 são apresentados apenas os resultados do desempenho dos programas. Para o dia 15/4 são apresentados, além dos resultados do desempenho, o seqüenciamento do programa de produção elaborado pelo especialista da fundição e o seqüenciamento gerado pela melhor alternativa do modelo proposto.

1-Programação do dia 12/4:

Tabela V.6- Indicadores do programa do dia 12/4

Resultados do Seqüenciamento	Média (kg)	Desvio-Padrão (kg)	Número de <i>set-up</i>	Condição de Rejeição (min)	Perda Capacidade (%)
TIPO I					
Limite Geral	22.717	1.326	14	0	5
Limite Isolado	22.717	1.326	14	0	5
Limite Mediano	22.921	2.037	14	390	6
TIPO II					
Limite Geral	22.786	1.710	14	240	5
Limite Isolado	22.786	1.710	14	315	5
Limite Mediano	22.786	1.710	14	240	5
ESPECIALISTA	22.681	1.610	14	-	5

Fonte: Dados primários (2005)

Os resultados são muito semelhantes em todas as alternativas analisadas. As simulações realizadas com a heurística de factibilização do tipo 1, com aplicação geral e aplicação isolada por linha dos limites *fuzzy* aparentemente são melhores por apresentarem um menor desvio-padrão. A perda de capacidade foi de 5%, para uma perda mínima admissível de 1,23% (média de 22.717 kg para uma capacidade

de 23.000 kg na fusão).

2-Programação do dia 13/4:

Tabela V.7 - Indicadores do programa do dia 13/4

Resultados do Sequenciamento	Média (kg)	Desvio-Padrão (kg)	Número de set-up	Condição de Rejeição (min)	Perda Capacidade (%)
TIPO I					
Limite Geral	21.509	2.726	17	90	8
Limite Isolado	21.654	1.886	17	15	7
Limite Mediano	21.533	2.231	17	0	8
TIPO II					
Limite Geral	21.509	2.757	17	15	8
Limite Isolado	21.509	2.757	17	15	8
Limite Mediano	22.754	3.852	17	315	9
ESPECIALISTA	22.007	2.386	17	-	7

Fonte: Dados primários (2005)

Mais uma vez, os desempenhos foram muito semelhantes, tendo a alternativa do tipo 1, com aplicação dos limites *fuzzy* aplicados isoladamente por linha, apresentado o menor desvio-padrão e a menor perda de capacidade (7% para uma perda admissível de 5,85%). O programa gerado pelo especialista também apresentou a menor perda de capacidade (7% para uma perda admissível de 4,85%). A alternativa com tipo 1 e aplicação dos limites medianos apresentou a menor condição de rejeição, mas teve um maior desvio-padrão e uma maior perda de capacidade.

3-Programação do dia 14/4:

Tabela V.8 - Indicadores do programa do dia 14/4

Resultados do Seqüenciamento	Média (kg)	Desvio-Padrão (kg)	Número de set-up	Condição de Rejeição (min)	Perda Capacidade (%)
TIPO I					
Limite Geral	22.699	2.972	16	345	7
Limite Isolado	22.840	1.725	16	0	5
Limite Mediano	22.936	2.772	16	210	6
TIPO II					
Limite Geral	22.652	2.917	16	345	7
Limite Isolado	22.699	2.363	16	45	6
Limite Mediano	22.699	2.363	16	60	6
ESPECIALISTA	22.889	2.598	16	-	6

Fonte: Dados primários (2005)

A alternativa do Tipo 1 com aplicação dos limites isolados por linha apresentou o menor desvio-padrão, a menor condição de rejeição e a menor perda de capacidade (5% para uma perda admissível de 0,7%). O programa gerado pelo especialista teve uma perda de capacidade de 6%. Isso significa que o modelo heurístico proporcionou um ganho de 1% na utilização da capacidade de fusão, o que resulta em 5.520 kg adicionais de metal líquido por dia, correspondendo a 110.400 kg por mês, ou 4,8 horas de produção a mais por mês.

4-Programação do dia 15/4:

Tabela V.9 - Indicadores do programa do dia 15/4

Resultados do Sequenciamento	Média (kg)	Desvio-Padrão (kg)	Número de set-up	Condição de Rejeição (min)	Perda Capacidade (%)
TIPO I					
Limite Geral	20.919	1.649	15	0	9
Limite Isolado	21.274	1.430	15	0	9
Limite Mediano	21.382	1.319	15	0	9
TIPO II					
Limite Geral	21.277	3.268	15	225	11
Limite Isolado	21.470	3.378	15	180	11
Limite Mediano	21.692	2.590	15	45	8
ESPECIALISTA	21.073	2.144	15	-	10

Fonte: Dados primários (2005)

Neste dia, a melhor alternativa em termos de perda de capacidade ficou por conta da alternativa do tipo 2 com aplicação dos limites medianos. A perda foi de 8% (para uma perda admissível de 5,7%), contra uma perda de 10% do programa gerado pelo especialista. Este ganho de 2% representa 11.040 kg de metal por dia, o que corresponde a 220.800 kg por mês, equivalentes a 9,6 horas adicionais de produção por mês. As alternativas do Tipo 1 apresentaram um menor desvio-padrão e uma menor condição de rejeição, mas uma maior perda de capacidade.

Para melhor ilustrar a aplicação do modelo heurístico, referente ao dia 15/4 serão apresentadas as planilhas detalhadas dos resultados gerados. A tabela V.10 apresenta o programa a ser sequenciado, onde os itens aparecem simplesmente em ordem de código, que é seqüência padrão de entrada de dados. A tabela V.11 demonstra o programa gerado pelo especialista, e a tabela V.12 o programa gerado pelo modelo heurístico (alternativa do Tipo 2 com aplicação dos limites medianos). A figura V.6 demonstra a demanda de metal ao longo de uma jornada de 24 horas, com a linha horizontal indicando a capacidade de fusão.

Tabela V.10 - Programa do dia 15/4 com seqüenciamento em ordem de código

Programa do dia 15/04					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
Capac(mol/h)	300	capac(mol/h)	270	capac(mol/h)	250
Código	quant(mol.)	Código	quant(mol.)	código	quant(mol.)
126	4000	218	1300	310	820
128	1000	219	1300	312	1200
170	1000	250	2000	313	700
186	1300	251	400	329	2000
		253	1000	332	600
				351	1000

Fonte: Dados primários (2005)

Tabela V.11 - Programa do dia 15/4 com seqüenciamento elaborado pelo especialista

Programa do dia 15/4 - Especialista					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
capac(mol/h)	300	capac(mol/h)	270	capac(mol/h)	250
Código	quant(mol.)	Código	quant(mol.)	código	quant(mol.)
126	4000	253	1000	310	820
128	1000	218	1300	313	700
170	1000	219	1300	312	1200
186	1300	251	400	329	2000
		250	2000	351	1000
				332	600

Fonte: Caso A (2005)

Tabela V.12 - Programa do dia 15/4 com seqüenciamento elaborado pelo modelo heurístico (melhor alternativa)

Programa do dia 15/4 - Modelo Heurístico					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
capac(mol/h)	300	capac(mol/h)	270	capac(mol/h)	250
Código	quant(mol.)	Código	quant(mol.)	código	quant(mol.)
126M	4000	218M	1300	310L	820
128L	1000	219M	1300	312P	1200
186L	1000	251P	2000	313L	700
170P	1300	253P	400	351M	2000
		250L	1000	329P	600
				332P	1000

Fonte: Dados Primários (2005)

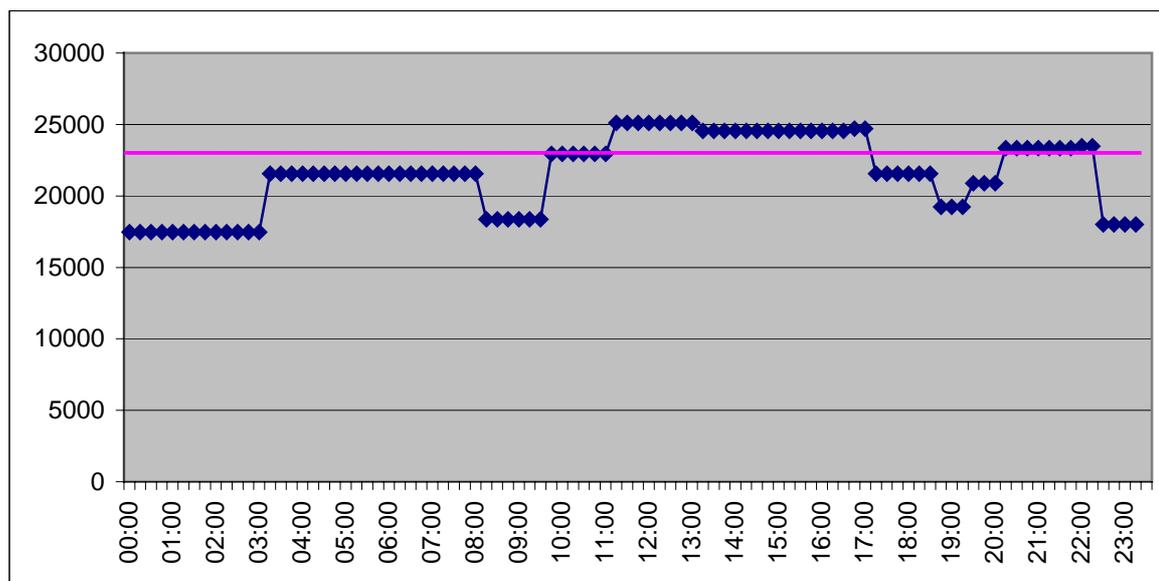


Figura V.6 - Demanda de metal ao longo do dia 15/4 (melhor alternativa)
 Fonte: Dados primários (2005)

No Apêndice C, p. 206, encontra-se o programa detalhado do dia 15/4 (melhor alternativa gerada pelo modelo heurístico), demonstrando o seqüenciamento em intervalos de 15 minutos para um dia de 24 horas.

Os resultados da aplicação prática do modelo nestes quatro dias permitem afirmar que o modelo heurístico proposto conseguiu apreender bem as regras e os processos de raciocínio dos especialistas, pois em nenhum momento o programa gerado pelo modelo apresentou resultados inferiores aos do programa gerado pelo especialista, pelo contrário, em duas oportunidades (dias 14/4 e 15/4) o programa gerado pelo modelo heurístico apresentou resultados superiores, em termos de aproveitamento da capacidade de produção.

A geração de um programa de produção com um seqüenciamento tal que permita, além de atender os pedidos nos prazos previstos, aproveitar bem a capacidade existente, atende perfeitamente as necessidades de qualidade e produtividade de uma fundição.

Percebe-se também que, dependendo das características do programa diário, diferentes alternativas podem gerar os resultados mais satisfatórios. Isso significa que, para cada dia, é conveniente simular os resultados de todas as alternativas de seqüenciamento, e selecionar aquela que melhor se adequa às necessidades

momentâneas. As simulações são executadas com muita rapidez e seus resultados podem ser analisados praticamente em tempo real. Este aspecto proporciona ao modelo um benefício adicional, no que se refere à análise de reprogramações que podem vir a ocorrer a qualquer momento do dia, em função de problemas diversos.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

A utilização de métodos heurísticos tem se mostrado adequada para solucionar problemas em ambientes de grande complexidade, diversidade e dinamismo. É uma opção atrativa, mesmo não chegando a soluções otimizadas, para situações que não comportam uma abordagem matemática consistente.

A lógica difusa (*fuzzy*) é um método heurístico que pode ser utilizado para o planejamento e controle da produção, com emprego apropriado em determinadas condições, como existência de variáveis contínuas e existência de especialistas que possam identificar regras de comportamento do sistema.

As características da indústria de fundição são muito peculiares e complexas, apresentando simultaneamente características de sistemas de produção contínua e sistemas de produção repetitiva em lotes. O ponto chave do PCP de uma fundição reside na programação conjunta e integrada da fusão e da moldagem.

Constatou-se, tanto na revisão da literatura disponível, como na pesquisa de campo, que o problema da programação do forno e das máquinas de moldar era resolvido unicamente através do conhecimento e da experiência dos programadores de produção. Uma metodologia específica para tal fim era desconhecida.

Uma programação adequada da fusão e da moldagem minimiza perdas de produção, desperdício de energia e defeitos de fundição. O desafio está em como sincronizar essas duas etapas conjugadas de produção para conseguir, a cada momento dado em uma jornada diária, um equilíbrio entre a oferta de metal líquido proveniente do forno com o consumo de metal líquido demandado pelas linhas de moldagem.

Assim sendo, a proposta deste trabalho foi desenvolver um modelo heurístico para a programação simultânea e integrada da fusão e da moldagem, inserido no sistema de PCP, em fundições mecanizadas de metais ferrosos. A hipótese levada em consideração foi a de que este modelo, alicerçado na teoria dos conjuntos *fuzzy*, poderia realizar o seqüenciamento das ordens de produção com equilíbrio, flexibilidade e rapidez.

O modelo proposto neste estudo foi desenvolvido com base nos conceitos da

lógica *fuzzy*, utilizando as regras de decisão utilizadas pelos programadores de produção, identificadas na pesquisa. Ele permite orientar o seqüenciamento das ordens de produção na moldagem de forma propiciar o melhor aproveitamento da capacidade produtiva, sem prejudicar o atendimento dos pedidos nas datas requeridas, já que seu campo de atuação se limita à programação diária.

Os resultados práticos da programação realizada durante alguns dias com o modelo heurístico desenvolvido demonstraram um desempenho equivalente, em alguns dias, e superior em outros, ao programa gerado pelo especialista da fundição. Isso permitiu corroborar a hipótese estabelecida e constatar uma situação de conformidade com o objetivo geral proposto.

A possibilidade de transferência do conhecimento especializado para uma ferramenta gerencial é um aspecto muito importante a ser ressaltado com o desenvolvimento do modelo, pois propicia meios para o compartilhamento de informações e a aprendizagem organizacional.

No que se refere aos objetivos específicos, igualmente se verificou uma total compatibilidade entre o que se buscou e o que se conseguiu:

- identificação das regras heurísticas para orientar as prioridades do programa de produção da fundição;
- descrição ordenada e detalhada de todas etapas de construção do modelo;
- avaliação do desempenho do modelo através de indicadores criados para esta finalidade, como desvio-padrão da demanda de metal em relação à média, quantidade de *set-ups*, tempo em que prevaleceu uma condição de rejeição em relação à base de regras lingüísticas durante uma jornada diária e produção perdida no recurso gargalo.

Os resultados, todavia, limitam-se a fundições com características semelhantes aos casos estudados, isto é, fundições de ferro mecanizadas, com operação contínua na fusão e repetitiva em lotes na moldagem.

Vale salientar ainda que a aplicação foi feita em uma fundição que tem somente três linhas de moldagem e não possui restrições de energia. Essas condições, de certa forma, facilitam o controle da pessoa humana sobre o programa, e podem explicar a excelente performance do programa gerado pelo especialista, embora inferior, em alguns dias, ao desempenho do programa gerado pelo modelo proposto. Fundições com linhas adicionais e restrições de energia

podem tornar impraticável a geração de um bom programa sem o emprego de uma metodologia auxiliar.

Outra vantagem do método é a capacidade de permitir a realização de simulações em planilha eletrônica com extrema rapidez, de várias alternativas com diferentes combinações de seqüenciamento, permitindo selecionar as de melhor desempenho. Esta característica pode ser particularmente importante para análise de reprogramações que podem ocorrer durante o dia.

6.2 Recomendações para trabalhos futuros

A atual versão fragmenta os lotes, quando necessário, somente em função dos horários de ponta, selecionando as peças mais leves neste período. Todavia, a fragmentação poderia ser feita também em outros períodos, com intuito de promover uma maior constância na demanda de metal líquido. Assim, novas versões do modelo poderiam incluir também regras adicionais e uma heurística de factibilização para a fragmentação de lotes. Isso acarretaria também a inclusão do controle de tempos perdidos para *set-up* em linhas que não dispõem do chamado sistema de troca rápida, e da introdução do conceito de lote mínimo.

Outro estudo, que poderia ser levado a efeito, se refere à ampliação dos conjuntos *fuzzy*. A existência de apenas três (peças leves, peças de peso médio e peças pesadas) promove uma amplitude muito grande no universo da variável lingüística “peso”, podendo causar sensíveis variações na demanda de metal mesmo com as combinações permitidas. Assim, talvez com conjuntos adicionais, do tipo “muito leve”, “pouco leve”, “muito pesada”, “pouco pesada” etc., os resultados poderiam ser melhorados ainda mais.

Finalmente, poderia ser desenvolvido um *software* específico e mais robusto para abrigar este modelo heurístico, melhorando a sua funcionalidade e segurança, além de permitir sua integração com um sistema ERP ou APS.

REFERÊNCIAS

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição. **Índices do mercado**. Disponível em: <<http://www.abifa.org.br>>. Acesso em: 25 jan. 2004.

ALMEIDA, Paulo E. M. de e EVSUKOFF, Alexandre G. **Sistemas fuzzy**. In: REZENDE, Solange O. (org.). **Sistemas inteligentes – fundamentos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2003.

ARAÚJO, Silvio A. de; CLARK, Alistair R. Um problema de programação da produção numa fundição. In: XXXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL - SOBRAPO. **Anais...** Campos do Jordão, 2001.

ARNOLD, J.R. Tony. **Administração de materiais**. São Paulo: Atlas, 1999.

BACK, T. **Evolutionary algorithms in theory and practice**. Oxford University Press, 1996.

BAKER, Kenneth R. **Introduction to sequencing and scheduling**. New York: John Wiley and Sons, 1974.

BALLOU, R. **Business logistics management**. New York: s.n., 1999.

BARCELLOS, H.F.; ABRAHÃO, I.N.; COELHO, E.A.; BEGHIN, P.; KNOOP, P.; ZACCHI, R. e SHIRKOOBI. Optimal scheduling systems in the steel industry: continuous casters mid term scheduling at CST. In: **V Seminário de Automação de Processos**. Belo Horizonte, MG, Outubro, 2001.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2002.

BEASLEY. D.; BULL, D.R.; MARTIN, R.R. **An overview of genetic algorithms: part 1, fundamentals**. University Computing, s.l., 1993.

BENTON, W.C.; SHIN, Hojung. Manufacturing planning and control: the evolution of MRP and JIT integration. **European Journal of Operational Research**, v. 110, p.

411-440, 1998.

BONVENTI JR., W. Lógica “fuzzy”: fundamentos e aplicabilidade. **Revista Estudos Universitários**, s.l., v. 24, n.1, p. 125-146, 1998.

BREMER, Carlos F.; MELLO, Mauricio C.F. de; ROZENFELD, Enrique. O conceito de planejamento fino e controle da produção. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA. CICOMGRAF. **Anais...s.l.** 1992.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. London: Uniwin Hyman, 1989.

BURBIDGE, John L. **Planejamento de controle da produção**. São Paulo: Atlas, 1983.

BUXEY, Geoff. Production scheduling: practice and theory. **European Journal of Operational Research**, North-Holland, v. 39, p. 17-31, 1989.

CAMPOS, F.M.P.; DAVIES, G.J. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas**. São Paulo: EDUSP, 1978.

CARDOSO, José C.M. **Entrevista concedida pelo Diretor da Tupy Fundições**. Joinville, 30 set. 2003.

CARVALHO, André C. P. de L.F. de; BRAGA, Antônio de P.; LUDERMIR, Teresa B. **Computação evolutiva**. In: REZENDE, Solange O. (org.). **Sistemas inteligentes – fundamentos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2003.

CAST METAL TIMES. Four reasons to use production simulation. s.l.**The Swedish Foundry Association.**, v. 3, n.1, p. 20-21, Dec/Jan 2001.

CHEN, Dong; LUH, Peter B.; THAKUR, Lakshman S.; MORENO Jr., Jack. Optimization-based manufacturing scheduling with multiple resources, setup requirements, and transfer lots. **IIE Transactions**, v. 35, p. 973-985, 2003.

CORBETT, Thomas Neto. **Contabilidade de ganhos**. São Paulo: Nobel, 1997.

CONTADOR, José C. e CONTADOR, José L. Programação e controle da produção para a indústria intermitente. In: CONTADOR, José C. (coordenador). **Gestão de operações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

CORRÊA, Henrique L. e GIANESI, Irineu G. N. **Just in time, MRPII e OPT** – um enfoque estratégico. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

_____. Sistemas de planejamento e controle da produção. In: CONTADOR, José C. (coordenador). **Gestão de operações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

CONWAY, R.W., MAXWELL, W.L. e MILLER, L.W. **Theory of scheduling**. New York: Addison Wesley, 1967.

CORRÊA, Henrique L. ; GIANESI, Irineu G. N. e CAON, Mauro. **Planejamento, programação e controle da produção. MRPII/ERP**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

COSTA, Luis S.S. e CAULLIRAUX, Heitor. **Manufatura integrada por computador – estratégia, organização, tecnologia e recursos humanos**. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

COX III, James F. e SPENCER, Michael S. **Manual da teoria das restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicholas J. e CHASE, Richard B. 3. ed. **Fundamentos da administração da produção**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DEMARCO, Tom. **Análise estruturada e especificação de sistemas**. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

DEUS, Roberto J. de. Indústria de Fundição no Brasil. In: **Seminário Latino-Americano de Fundição do Projeto SENAI/CETEF-JICA**, Itaúna, MG, 22 a 24 de agosto de 2001.

DOMSCHKE, W. **Einführung in operations research**, Berlin: s.n., 1998.

ENGELS, Gerhard (Membro do Presidium da GIFA de 1962 à 1994). Half a century of foundry technology as reflected in GIFA. **Casting Plant + Technology International**. Feb, 2003, s.n.t..

ERDMANN, Rolf H. **Organização de sistemas de produção**. Florianópolis: Insular, 1998.

_____. **Administração da produção**: planejamento, programação e controle. Florianópolis: Papa Livro, 2000.

FANDEL, G.; FRANÇOIS, P.; GUBITZ, K.-M. **PPS-Systeme – Grundlagen, Methoden, Software, Marktanalyse**. Berlin: Springer-Verlag, 1994.

FERNANDES, Flávio C.F. A pesquisa em gestão da produção: evolução e tendências. In: XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1999. ABEPRO, Rio de Janeiro. **Anais....**Rio de Janeiro, 1999.

FERNANDES, Flávio C. F. e LEITE, Reinaldo B. Automação industrial e sistemas informatizados de gestão da produção em fundições de mercado. São Carlos. **Gestão & Produção**, v.9, n.3, p. 313-344, dez. 2002.

FIEDLER, Claudia; GREISTORFER, Peter; VOSS, Stefan. **Meta-heuristiken als moderne Lösungskonzepte für komplexe Optimierungsprobleme**. Disponível em: <<http://kfunigenez.ac.at>>. Acesso em 15 fev. 2004.

GAITER, Norman e FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson, 2001.

GOLDRATT, Eliyahu M. **A síndrome do palheiro**. São Paulo: Educator, 1992.

GOLDRATT, Eliyahu M. e Fox, Robert E. **A corrida**. 6.ed. São Paulo: Educator, 1989.

GOLDRATT, Eliyahu M.; SCHRAGENHEIM, Eli; PTAK, Carol A. **Necessary but not sufficient – a theory of constraints business novel**. Great Barrington, MA: The North River Press, 2000.

GUERREIRO, Reinaldo. **A meta da empresa – seu alcance sem mistérios**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GÜNDRA, Hartmut; KALCSICS, Jörg; NICKEL, Stefan; SCHRÖDER, Michael. **Heuristische Ansätze zur Lösung von Standortfragen un deren Implementierung**.(2002) Disponível em: <<http://www.itwm.fraunhofer.de>>. Acesso em 12 fev. 2004.

GUESSER, Wilson L. Perspectivas tecnológicas para a indústria de fundição na América Latina. In: **Seminário Latino-Americano de Fundição do Projeto SENAI/CETEF-JICA**, Itaúna, MG, 22 a 24 de agosto de 2001.

GUIMARÃES, Deborah R.C. e ORTÊNCIO, Vanderlei V. Métodos para tratamento de incertezas. **Tuiuti: Ciência e Cultura**, n. 57, mar 1998.

HARDING, Hamish A. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1981.

HEIZER, Jay e RENDER, Barry. **Administração de operações**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2001.

HÜTTER, Steffen H. **Planung un optimierun von Logistiknetzwerken** (2000). Disponível em: <http://www.wiwi.uni-sb.de> Acesso em 04 dez. 2003.

JELLEN, Bill e SYRSTAD, Tracy. **Macros e VBA para Microsoft Excel**. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2004.

KERLINGER, Fred N. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais**. São Paulo: EPU, 1980.

KING, P.J. e MAMDANI, E.H. The application of *fuzzy* control systems to industrial processes. **Automatica**, n. 13, p. 235-242, 1977.

KOTLER, Philip. **Administração de marketing**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

LANEY, Richard S. Foundry manufacturing software must meet varied needs. **Foundry Management and Technology**, v.110, n. 3, p. 29-39, March 1982.

LAW, Trevor D. Total manufacturing control for the foundry of the 90's. 86th ANNUAL CONFERENCE, 1989. The Institute of British Foundrymen's, Stratford, **Anais....**Stratford, 1989.

LAWRENCE, S.T. e SEWELL, E.C. Heuristic, optimal, static, and dynamic schedules when processing times are uncertain. **Journal of Operations Management**, v.15, p. 71-82, 1997.

LÜDKE, Menga e ANDRÉ, Marli E.D. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MACCARTHY, B.L.; LIU, J. Addressing the gap in scheduling research: a review of optimization and heuristic methods in production scheduling. **International Journal of Production Research**, v. 31, n. 1, p. 59-79, 1993.

MACHLINE, Claude. Evolução da administração da produção no Brasil. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v 34, n. 3, p. 91-101, mai./jun. 1994.

MAFRA, Wilson J. **Estabelecimento de novos negócios: uma alternativa de sobrevivência e competitividade**. 1999. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando P. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 1999.

MEREDITH, Jack R. e SHAFER, Scott M. **Administração da produção para MBAs**. Porto Alegre: Bookmann, 2002.

MILTENBURG, J. Comparing JIT, MRP and TOC, and embedding TOC into MRP. **International Journal Production Research**, s.l., v. 35, n. 4, p. 1147-1169, 1997.

MOCCELLIN, João V. e BELHOT, Renato V. Reducing the gap between production scheduling theory and practice by using expert systems. In:XVIII ENCONTRO

NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1998. ABEPRO, Niterói. **Anais....**Niterói, 1998.

MODERN CASTING. **The pursuit of high tech: what foundries must consider to become state-of-the-art.**(September 2003). Disponível em: <<http://castsolutions/com>. Acesso em 07 jan. 2004.

MONKS, Joseph G. **Administração da produção**. São Paulo: McGraw-Hill, 1987.

MONTEVECHI, José A.; TURRIONI, João B.; ALMEIDA, Dagoberto A. de; MERGULHÃO, Ricardo C.; LEAL, Fabiano. Análise comparativa entre regras heurísticas de seqüenciamento da produção aplicada em *job shop*. **Produto & Produção**, vol. 6, p. 12-18, jun 2002.

MORAES, Renato de Oliveira. **Programação da produção – simulador de regras de seqüenciamento**. In: XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1998. ABEPRO, Niterói. **Anais....**Niterói, 1998.

MORANDIN, Orides Jr. e KATO, Edílson R.R. Sistema de planejamento da produção baseado em simulação (PPSS). In: REZENDE, Solange O (org.). **Sistemas inteligentes – fundamentos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2003.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira, 1993.

MORTON, T.E.; PENTICO, D.W. **Heuristic scheduling systems**. John Wiley & Sons, N.Y., 1993.

NOBRE, Farley S.M. *Fuzzy logic: aplicações*. s.l. **Revista Integração**, Ano VI, n. 23, p. 264-267, nov. 2000.

NOREEN, Eric; SMITH, Debra; MACKEY, James T. **A teoria das restrições e suas implicações na contabilidade gerencial**. São Paulo: Educator, 1996.

NORONHA, Adriana B.; RIBEIRO, José F. F.; RIBEIRO, Cassilda M. Programação de operações com restrições disjuntivas. São Carlos. **Gestão & Produção**, v.3, n.2,

p. 204-219, ago. 1996.

NYAMEKYE, K.; AN, Y.K. Using rapid modeling technology in a permanent mold casting production facility. Des Plaines, IL. **Transactions of American Foundry Society**, v. 104, p. 395 a 403, 1996.

O'BRIEN, James A. **Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da internet**. São Paulo: Saraiva, 2001.

OISHI, Michitoshi. **TIPS – técnicas integradas na produção e serviços**. São Paulo: Pioneira, 1995.

PACHECO, Ricardo F. **A adoção de modelos de programação da produção nas empresas: um estudo do processo de decisão**. 1999. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia com concentração em Operações e Logística) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PACHECO, Ricardo F. e SANTORO, Miguel C. Proposta de classificação hierarquizada dos modelos de solução para o problema de job shop scheduling. São Carlos. **Gestão & Produção**, v.6, n.1, p. 1-15, abr. 1999.

PANWALKER, S.S. e ISKANDER, W. A survey of scheduling rules. **Operations Research**, v.25, p.46-51, 1977.

PEDROSO, Marcelo C. e CORRÊA, Henrique L. Sistemas de programação da produção com capacidade finita: uma decisão estratégica. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v 36, n. 4, p. 60-73, out./nov./dez. 1996.

PEREIRA, Érica C.O. e ERDMANN, Rolf H. A evolução do planejamento e controle e o perfil do gerente da produção. In: XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1998. ABEPRO, Niterói. **Anais....Niterói**, 1998.

POLYA, G. **How to solve it?** 2. ed. Princeton: Princeton University Press, 1957.

PÖLTL, Alexander. (2001). **Scheduling durch Heuristische Suche – das ISIS-System**. Disponível em: <<http://informatik.uni-ulm.de>>. Acesso em 15 fev. 2004.

PREACTOR. **Perguntas e respostas sobre programação da produção.** Disponível em: <<http://www.preactor.com.br>> Acesso em 05 ago. 2003.

PTAK, Carol A. MRP, MRPII, OPT, JIT, and CIM – Sucession, evolution, or necessary combination. **Production and Inventory Management Journal.** s.l., v. 32, n. 2, p. 7-11, Second Quarter 1991.

RAGHU, T.S. e RAJENDRAN, C. An efficient dynamic dispatching rules for scheduling in a job shop. **International Journal of Production Economics**, v.32, p.301-313, 1993.

REZENDE, Solange O. (org.). **Sistemas inteligentes – fundamentos e aplicações.** São Paulo: Manole, 2003.

RICHARDSON, Roberto J. e colaboradores. **Pesquisa social – métodos e técnicas.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

SACOMANO, José B. e AZZOLINI, Walther Júnior. Uma análise da evolução histórica da estrutura funcional do planejamento e controle da produção. In: XXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2001. ABEPRO, Salvador. **Anais....** Salvador, 2001.

SAISSE, Manoel Carlos. Planejamento fino da produção – um elo esquecido na estratégia de manufatura. In: XXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2003. ABEPRO, Ouro Preto. **Anais....** Ouro Preto, 2003.

SAMPAIO, Ricardo M. e ROCHA, Cláudio P. Redução do consumo de energia no forno a arco de 6t da fundição. In: **XVII Seminário de Balanços Energéticos Globais da Associação Brasileira de Metais**, Volta Redonda, RJ, 26 a 30 de setembro de 1995.

SANTOS, Sandro M. **O conceito planejamento fino e controle da produção aplicado em ambiente de ferramentaria.** 1997. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, Hamilton C.M.; FRANÇA, Paulo M. Meta-heurística para programação da produção com tempos de preparação dependentes da seqüência. São Carlos. **Gestão & Produção**, v.2, n.3, p. 228-243, dez. 1995.

SAUER, Jürgen. **Ablaufplanung (scheduling)** (1997). Disponível em: <<http://www-is.informatik.uni-oldenburg.de>> Acesso em 15 fev. 2004.

SCHEER, August W. **CIM: evoluindo para a fábrica do futuro**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1993.

SCOFIELD, Wendrer C.L. **Aplicação de algoritmos genéticos ao problema job-shop**. 2002. 131 f. Monografia (graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

SCRIMSHIRE, D.A. CIM in the foundry industry. Beijing, China. **Beijing International Foundry Conference**, v.1, p. 395-441, 1986.

SCRIMSHIRE, D.A; LAW, T.D.; DALLMER, D.A. Computerized foundry production scheduling – an analysis of problems and solutions. Des Plaines, Il. **Transactions of American Foundry Society**, v. 92, p. 151 a 159, 1984.

SHIMIZU, Tamio. **Processamento de dados – conceitos básicos**. São Paulo: Atlas, 1982.

SIEGEL, Miguel. **Curso de fundição**. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1963.

SILVA, Ermes H. da; SILVA, Elio M. da; GONÇALVES, Valter e MUROLO, Afrânio C. **Pesquisa operacional**. São Paulo: Atlas, 1998.

SILVA Filho, Oscar S. Estratégias seqüenciais subótimas para planejamento agregado da produção sob incertezas. São Carlos. **Gestão & Produção**, v.7, n.3, p. 247-268, dez. 2000.

SILVA, Raida de J. e MORABITO, Reinaldo. Otimização da programação de cargas de forno em uma fábrica de fundição em aço-inox. São Carlos. **Gestão &**

Produção, v.11, n.1, p. 135-151, abr. 2004.

SILVEIRA, Rejane R. e MORABITO, Reinaldo. Um método heurístico baseado em programação dinâmica para o problema de corte bidimensional guilhotinado restrito. São Carlos. **Gestão & Produção**, v.9, n.1, p.78-92, abr. 2002.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart e JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOUTHALL, J.T.; LAW, T.D. Approaches to improved job scheduling in foundries. **The British Foundrymen**, p. 287-291, October 1980.

SPRAKEL, Eurico B. e SEVERIANO FILHO, Cosmo. A evolução dos sistemas de PCP sob a ótica da engenharia de produção. In: XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1999. ABEPRO, Rio de Janeiro. **Anais....**Rio de Janeiro, 1999.

STARR, Martin K. **Administração da produção – sistemas e sínteses**. São Paulo: Edgard Blücher, 1971.

STEVENSON, William J. **Administração das operações de produção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2001.

TERRA, Ana R.T.; PEREIRA, Néocles A. Aplicação de redes neurais artificiais na programação da produção. In:XX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2000. ABEPRO, São Paulo. **Anais....**São Paulo, 2000.

TRIPODI, T.; FELLIN, P.; MEYER, H. **Análise da pesquisa social**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1975.

TRIVIÑOS, Augusto N.S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**. São Paulo: Atlas, 1987.

TUBINO, Dalvio F. **Manual de planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

VIANNA, Andréa C.G.; ARENALES, Marcos. Um problema de programação da produção numa fundição automatizada.. São Carlos. **Gestão & Produção**, v.2, n.3, p. 244-263, dez. 1995.

VDI (1993): **Simulation von systemen in Logistik, Materialfluss und Produktion**, Düsseldorf, s.n.t.,1993.

WOEPPEL, J. Mark. **The manufacturer's guide to implementing the theory of constraints**. Boca Raton, Florida:The St. Lucie, 2001.

ZACCARELLI, Sérgio B. **Programação e controle da produção**. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1973.

_____. **Programação e controle da produção**. 7. ed. São Paulo: Pioneira, 1986.

ZATTAR, Izabel C. **Análise da aplicação dos sistemas baseados no conceito de capacidade finita nos diversos níveis da administração da manufatura através de estudos de casos**. 2004. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina.

ZHOW, H.; FENG, Y. e HAN, L. The hybrid heuristic genetic algorithm for job shop scheduling. **Computers & Industrial Engineering**, v. 40, p.191-200, 2001.

APÊNDICES

APÊNDICE A

ROTEIRO PARA COLETA DE DADOS ATRAVÉS DE ENTREVISTAS NAS EMPRESAS ESTUDADAS

1. ESTRUTURA ORGANIZACIONAL – Identificação e caracterização das unidades orgânicas.

Objetivo: Identificar a estrutura e situar as funções de planejamento e controle da produção no contexto da área de produção e reconhecer suas funções.

2. ESTRUTURA DE INFORMAÇÃO – Descrição do fluxo de informações (de entrada, internas e de saída) nas relações entre as unidades orgânicas e o PCP.

Objetivo: Identificar as relações intra PCP e deste com seus clientes (saídas) e seus fornecedores (entradas).

3. MEIO AMBIENTE E TECNOLOGIA - Caracterização da tecnologia e das relações da empresa com o meio externo.

Objetivo: Identificar as influências do meio externo no sistema de produção e os reflexos no PCP.

- clientes: número (poucos/muitos), constância de pedidos e suas preferências, volume de negócios, alterações de programas, modalidades de recebimento, tipos de produtos/famílias..

- suprimentos: matérias-primas e materiais de processo, confiabilidade de entregas, flexibilidade, tempo entre a detecção da necessidade e a emissão da ordem de compra/atendimento.

- tecnologia: nível de flexibilidade, *lay-out* em processo, em linha ou celular, grau de mecanização ou de automatização.

4. DADOS DE PRODUÇÃO - Identificação dos detalhes da produção e sua relação com as características do PCP.

Objetivo: Conhecer o processo de produção, estabelecendo relação entre a sua maneira de funcionar e as características do PCP.

- o volume da produção - (peças) e no forno (metal líquido);
- os turnos/dia;
- horas disponíveis/turno;
- número de produtos finais (para venda ou para aplicação para componentes em outras linhas);
- o tipo de produção (em massa, série, repetitiva em lotes, unitária);
- estrutura dos produtos;
- estrutura ou fluxos (roteiros) do processo e o número de estágios intermediários de produção;
- industrialização externa;
- tempos de produção para produzir os produtos em cada operação/centro de trabalho;
- tempos de passagem pelos centros de trabalho (*lead-time*) (individual por produto ou por família) (Como é determinado? Como se compõe?);
- os recursos de produção utilizados (equipamentos, ferramentais, mão-de-obra; materiais, energia) (Quanto à energia, como é feita a administração da demanda? Quanto ao controle de impedimento e liberação dos ferramentais, como é feito?;
- a existência de *set-up* dependentes(é possível relacionar com grupos de equipamentos ou ferramentais e famílias de classes de liga?).

5. PROCESSAMENTO ELETRÔNICO DE DADOS - Descrição do grau de informatização empregado e a utilização de *softwares*.

Objetivo: Estabelecer o grau de informatização atualmente empregado, o uso de *softwares*, e o nível de satisfação/sucesso com o uso dos mesmos. Integração com outros sistemas (ERP).

6. ATIVIDADES DO PCP - Caracterização da função atual do PCP, suas tarefas, procedimentos, processo decisório e problemas.

Objetivo: Identificar tarefas, procedimentos, parâmetros utilizados, regras heurísticas e processo decisório no âmbito do PCP.

- horizonte de planejamento/programação;
- ciclo de planejamento/programação (diário, semanal, mensal);
- frequência e envergadura (total ou parcial) de replanejamento e remanejamento de programas, motivado por causas externas ou internas;
- parâmetros de planejamento/programação (previsões, pedidos, dados históricos, capacidade de produção, período fixo, por ciclo);
- o que orienta o planejamento/programação (pedidos, preenchimento da capacidade, uniformidade de produção, níveis de estoque, outros);
- regras adotadas na seqüência de produção (dos produtos ou de suas etapas);
- regras adotadas para utilização de recursos;
- índices de perdas no processo (refugos, desbastes);
- balanceamento fusão x moldagem (peso ferro líquido): como é feito?;
- gargalos (onde se localizam, são mutantes dependendo do *mix*? Ações tomadas para maximizar a utilização dos recursos gargalo);
- qual o nível de detalhe do planejamento e programação (quantidades e tipos de produtos por mês ou por hora, seqüências, horas de início e fim das etapas);
- quais os instrumentos utilizados (formulários, ordens ou outros);
- qual o grau de centralização/descentralização das decisões;
- como se faz o planejamento das necessidades de material, como componentes ou matérias-primas;
- determinação do tamanho dos lotes de fabricação;

- estabelecimento de datas intermediárias ao longo do fluxo de um lote de produção;
- como é feito o ajuste de capacidade à programação ou a seus desvios (horas extras, alteração de turnos, de meios de produção ou de ritmo de produção);
- liberação de ordens (teste de disponibilidade, carga, regras heurísticas, seqüência previamente definida);
- como é feita a comparação entre o *é* e o *deveria*;
- indicadores de desempenho utilizados, para o PCP e para a Produção (atrasos em dias, por tonelagem, por cliente, utilização da capacidade, níveis de estoques, tempo de passagem, tempo de processamento computacional, outros);
- acuracidade das informações de padrões, parâmetros de planejamento e estoques de matérias-primas, fundidos em processo, machos, produtos acabados,

7. PROBLEMAS E EXPECTATIVAS EM RELAÇÃO AO PCP – Identificação dos problemas e expectativas em relação ao PCP (o que se espera do sistema PCP).

Objetivo: Identificar e avaliar as dificuldades, os interesses e as necessidades em relação ao PCP

- problemas que podem ser apontados no PCP;
- aspectos que não funcionam a contento;
- sugestões.

APÊNDICE B

FUNCIONALIDADE DA PLANILHA ELETRÔNICA COM O MÉTODO HEURÍSTICO PROPOSTO PARA A PROGRAMAÇÃO CONJUNTA DA FUSÃO E DA MOLDAGEM

1) Introdução

A Figura 1 apresenta a tela principal do sistema utilizado para programar as seqüências de fabricação de moldes em linhas de moldagem que recebem metal líquido proveniente de um único forno ou de uma central de fusão.

The screenshot shows a software window titled "UserForm1" with a blue title bar and a close button. The interface is organized into several sections:

- Top Left:** Two buttons labeled "le dados" and "verificar dados lidos".
- Top Center:** A text area displaying system parameters:
 - Número de linhas de moldagem = 3
 - Número de indicadores Fuzzy = 3
 - Indicador1 = L ; limite = 0,33
 - Indicador2 = M ; limite = 0,66
 - Indicador3 = P ; limite = 1
 - Número de condições de rejeição = 8
 - Condição 1 = PPP
 - Condição 2 = LLL
 - Condição 3 = MPP
 - Condição 4 = PMP
- Middle Left:** Two buttons for data ordering: "ordena dados - TIPO 1 - leve > pesado; pesado > leve" and "ordena dados - TIPO 2 - reordena linha".
- Middle Right:** A section titled "Aplicação dos limites fuzzy" with three radio button options:
 - aplicar limites geral em todas linhas
 - aplicar limites em cada linha isoladamente
 - manter os limites medianos
- Bottom Left:** A button labeled "programação".
- Bottom Center:** A box titled "Número de Setup" containing:
 - Linha 1 = 6
 - Linha 2 = 7
 - Linha 3 = 7
 - Total = 20
- Bottom Right:** A box titled "Resumo" showing:
 - Média = 21825
 - Desvio Padrão = 1873

Figura 1 : Tela principal do programa

2) Dados de Entrada

Todos os dados de entrada são organizados em planilhas.

2.1) planilha: dadlin

Dados iniciais sobre as linhas e condições		
Linha	Arquivo	capacidade
1	casalin1	300
2	casalin2	270
3	casalin3	250

Conserva os dados referentes à capacidade e nome da planilha correspondente a cada linha de moldagem. **Linha**: número da linha de moldagem; **arquivo**: nome da planilha com os dados sobre a linha de moldagem e **capacidade**: capacidade em número de moldes da linha.

2.2) planilha: casalin3

ITEM	LIGA	PECASPLA	CONJUNTO	ARVORE	MOLHORA	KGHORA	RARVORE	TIPO
334	0	8	1,78	14,20	250	3550	1	L
311	0	4	3,80	15,18	250	3795	2	L
310	0	4	3,87	15,46	250	3865	3	L

Conserva os dados referentes a uma determinada linha de moldagem chamada de casalin3. Os dados relevantes são o **ITEM**: que é o nome do item; **KGHORA**: peso por hora e **TIPO**: tipo de indicador inicial obtido pela divisão mediana do arquivo entre os diversos tipos indicadores.

2.3) planilha: limites

Indicadores e Limites <i>Fuzzy</i>	
Indicador	Limite
L	0,33
M	0,66
P	1,00

Conserva os dados referentes aos diversos indicadores *fuzzy*. **Indicador**:

nome do indicador e **Limite**: índice limite para o peso por hora do indicador. Os diversos indicadores devem ser colocados na seqüência, ou seja, indicador para os moldes mais leves até o indicador para os moldes mais pesados.

No exemplo temos três indicadores, o indicador L será utilizado para moldes com peso em até 33% da variação total de peso entre os diversos moldes. O indicador M, por sua vez, será utilizado para moldes com peso superior a 33% e até a 66% da variação total de peso entre os diversos moldes. O indicador P, por final, será utilizado para moldes que tem peso superior a 66% da variação total de peso.

2.4) planilha: dadconrej

Condições de rejeição	
Condições	
PPP	
LLL	
MPP	
PMP	
PPM	
LLM	
MLL	
LML	

Conserva os dados referentes às condições de rejeição. **Condições**: as diversas condições de rejeição.

No exemplo temos as condições de rejeição baseadas em três limites: P, L e M. Qualquer alteração dos nomes dos limites deve ser seguida por uma representação adequada das condições de rejeição.

2.5) planilha: dadconesp

Horário Especial	
Horário	
Inicial	Final
17:00	19:00

Conserva os dados referentes ao Horário Especial (horário de ponta, onde há restrições de energia), que possibilita indicação de horário onde o fornecimento de metal é limitado. Assim, no Horário Especial, a programação é feita baseada nos

moldes mais leves de cada linha de moldagem programados para aquele dia. A escolha dos moldes mais leves é feita baseada nos indicadores *fuzzy*.

2.6) planilha: programadia

Programação do Dia					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
Capac(mol/h)	300	capac(mol/h)	270	capac(mol/h)	250
código	quant(mol.)	Código	quant(mol.)	código	quant(mol.)
101	600	208	1600	306	500
122	430	220	1600	315	1000
126	4300	229	1300	329	1100
185	1060	244	1200	331	500
186	470	245	700	332	600
				348	1000
				351	900

Conserva os dados referentes a programação dos moldes nas diversas linhas de moldagem. **Código**: indica o código do molde programada e **quan.(mol.)**: indica a quantidade de moldes.

2.7) planilha: final

Programação do Dia											
	Linha 1			Linha 2			Linha 3			Total	
hora	código	tipo	peso/h	código	tipo	peso/h	código	tipo	peso/h	tipos	peso/h
00:00	122	M	5942	220	P	7474	315	M	7847	MPM	21263
00:15	122	M	5942	220	P	7474	315	M	7847	MPM	21263
00:30	122	M	5942	220	P	7474	315	M	7847	MPM	21263
00:45	122	M	5942	220	P	7474	315	M	7847	MPM	21263
01:00	122	M	5942	220	P	7474	315	M	7847	MPM	21263

Resume o resultado da programação nas diversas linhas de moldagem. Informa o horário em intervalo de 15 minutos, além do código dos moldes em cada linha de moldagem.

3) Execução do Programa

O programa foi feito em VBA – *Visual Basic Application* – do Microsoft Excel.

4) Leitura de Dados

O botão de comando “**lê dados**” executa a leitura dos dados nas diversas planilhas de entrada.

5) Verificação dos dados

Os dados de entrada podem ser verificados através de uma lista ativada pelo botão de comando “**verificar dados lidos**”

6) Ordenação das seqüências de moldes

A base da programação das linhas de moldagem é:

6.1) Ordenação Tipo 1

A Ordenação Tipo 1 realiza uma ordenação crescente ou decrescente na programação das diversas linhas de moldagem, em função dos indicadores *fuzzy*. A ordenação crescente é realizada em metade das linhas de moldagem no caso de número par de linhas de moldagem ou na metade das linhas menos 1 no caso de número ímpar de linhas de moldagem. A outra parte é ordenada decrescentemente.

6.2) Ordenação Tipo 2

A ordenação Tipo 2 verifica a ocorrência de horários com condição indicativa de rejeição de acordo com os indicadores *fuzzy*. Verificada a ocorrência, o molde programado que causou a ocorrência é recolocado no final da programação da sua linha, ou seja, como o último molde naquela linha de moldagem. Após alteração na programação é realizada nova verificação até eliminar todas as ocorrências ou acabar as alternativas de troca.

7) Aplicação dos limites *fuzzy*

No quadro Aplicação dos limites *fuzzy*, pode-se alterar a forma de transformação dos pesos em limites *fuzzy*. Existem três alternativas selecionadas por botões.

7.1) Alternativa 1: aplicar limites geral em todas as linhas

Esta alternativa ordena por peso todos os moldes codificados nos diversos arquivos das linhas de moldagem, aplicando os indicadores *fuzzy* em função dos limites definidos.

7.2) Alternativa 2: aplicar limites isoladamente em cada linha

Realiza a aplicação dos indicadores *fuzzy* em função dos limites definidos em cada arquivo das linhas de moldagem isoladamente.

7.3) Alternativa 3: manter os limites medianos

Antecipadamente todas as linhas de moldagem foram ordenadas por peso, impondo-se a definição de indicadores *Fuzzy* em função da divisão em medianas de acordo com a quantidade de indicadores *Fuzzy*.

8) Programação

O botão de comando “**programação**” executa a programação final segundo os critérios de aplicação dos limites *fuzzy* e condições de ordenação escolhidos. Os resultados finais são dispostos na planilha **final**.

Após a programação são fornecidos alguns indicadores, como por exemplo, o número de *set-ups* nas diversas linhas de moldagem.

APÊNDICE C

SEQÜENCIAMENTO DETALHADO DO PROGRAMA DE PRODUÇÃO DO DIA 15/4 GERADO PELA MELHOR ALTERNATIVA DO MODELO HEURÍSTICO PROPOSTO

continua

hora	Programação do Dia									tipos	Total peso/h
	Linha 1			Linha 2			Linha 3				
	código	tipo	peso/h	código	tipo	peso/h	código	tipo	peso/h		
00:00	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
00:15	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
00:30	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
00:45	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
01:00	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
01:15	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
01:30	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
01:45	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
02:00	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
02:15	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
02:30	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
02:45	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
03:00	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
03:15	126	M	7234	218	M	6380	310	L	3865	MML	17479
03:30	126	M	7234	218	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
03:45	126	M	7234	218	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
04:00	126	M	7234	218	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
04:15	126	M	7234	218	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
04:30	126	M	7234	218	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
04:45	126	M	7234	218	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
05:00	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
05:15	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
05:30	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
05:45	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
06:00	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
06:15	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
06:30	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
06:45	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
07:00	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
07:15	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
07:30	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
07:45	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
08:00	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
08:15	126	M	7234	219	M	6380	312	P	7932	MMP	21546
08:30	126	M	7234	219	M	6380	313	L	4750	MML	18364
08:45	126	M	7234	219	M	6380	313	L	4750	MML	18364
09:00	126	M	7234	219	M	6380	313	L	4750	MML	18364
09:15	126	M	7234	219	M	6380	313	L	4750	MML	18364
09:30	126	M	7234	219	M	6380	313	L	4750	MML	18364
09:45	126	M	7234	219	M	6380	313	L	4750	MML	18364

conclusão

10:00	126	M	7234	251	P	10957	313	L	4750	MPL	22940
10:15	126	M	7234	251	P	10957	313	L	4750	MPL	22940
10:30	126	M	7234	251	P	10957	313	L	4750	MPL	22940
10:45	126	M	7234	251	P	10957	313	L	4750	MPL	22940
11:00	126	M	7234	251	P	10957	313	L	4750	MPL	22940
11:15	126	M	7234	251	P	10957	313	L	4750	MPL	22940
11:30	126	M	7234	251	P	10957	351	M	6918	MPM	25108
11:45	126	M	7234	251	P	10957	351	M	6918	MPM	25108
12:00	126	M	7234	251	P	10957	351	M	6918	MPM	25108
12:15	126	M	7234	251	P	10957	351	M	6918	MPM	25108
12:30	126	M	7234	251	P	10957	351	M	6918	MPM	25108
12:45	126	M	7234	251	P	10957	351	M	6918	MPM	25108
13:00	126	M	7234	251	P	10957	351	M	6918	MPM	25108
13:15	126	M	7234	251	P	10957	351	M	6918	MPM	25108
13:30	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
13:45	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
14:00	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
14:15	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
14:30	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
14:45	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
15:00	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
15:15	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
15:30	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
15:45	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
16:00	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
16:15	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
16:30	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
16:45	128	L	6683	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24558
17:00	186	L	6831	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24705
17:15	186	L	6831	251	P	10957	351	M	6918	LPM	24705
17:30	186	L	6831	253	P	7804	351	M	6918	LPM	21553
17:45	186	L	6831	253	P	7804	351	M	6918	LPM	21553
18:00	186	L	6831	253	P	7804	351	M	6918	LPM	21553
18:15	186	L	6831	253	P	7804	351	M	6918	LPM	21553
18:30	186	L	6831	253	P	7804	351	M	6918	LPM	21553
18:45	186	L	6831	253	P	7804	351	M	6918	LPM	21553
19:00	186	L	6831	250	L	5484	351	M	6918	LLM	19232
19:15	186	L	6831	250	L	5484	351	M	6918	LLM	19232
19:30	186	L	6831	250	L	5484	351	M	6918	LLM	19232
19:45	186	L	6831	250	L	5484	329	P	8578	LLP	20892
20:00	186	L	6831	250	L	5484	329	P	8578	LLP	20892
20:15	186	L	6831	250	L	5484	329	P	8578	LLP	20892
20:30	170	P	9288	250	L	5484	329	P	8578	PLP	23349
20:45	170	P	9288	250	L	5484	329	P	8578	PLP	23349
21:00	170	P	9288	250	L	5484	329	P	8578	PLP	23349
21:15	170	P	9288	250	L	5484	329	P	8578	PLP	23349
21:30	170	P	9288	250	L	5484	329	P	8578	PLP	23349
21:45	170	P	9288	250	L	5484	329	P	8578	PLP	23349
22:00	170	P	9288	250	L	5484	329	P	8578	PLP	23349
22:15	170	P	9288	250	L	5484	332	P	8708	PLP	23479
22:30	170	P	9288	250	L	5484	332	P	8708	PLP	23479
22:45	170	P	9288				332	P	8708	PP	17996
23:00	170	P	9288				332	P	8708	PP	17996
23:15	170	P	9288				332	P	8708	PP	17996
23:30	170	P	9288				332	P	8708	PP	17996
23:45	170	P	9288				332	P	8708		
00:00	170	P	9288				332	P	8708		