

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DESENVOLVIMENTO DE UM GERENCIADOR DE SISTEMAS FLEXÍVEIS DE
MANUFATURA COM ATRIBUTOS DO CONTROLE TOTAL DA QUALIDADE

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM ENGENHARIA

CARLOS HENRIQUE BERENHAUSER

FLORIANÓPOLIS - OUTUBRO DE 1994.

“DESENVOLVIMENTO DE UM GERENCIADOR DE SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA COM ATRIBUTOS DO CONTROLE TOTAL DA QUALIDADE”.

CARLOS HENRIQUE BERENHAUSER

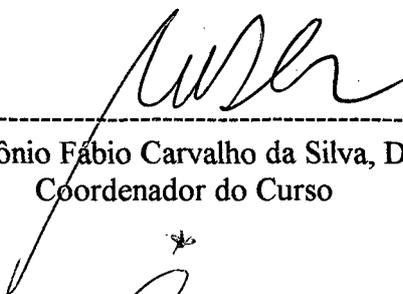
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO METROLOGIA E INSTRUMENTAÇÃO, APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Carlos Alberto Schneider, Dr. Ing.
Orientador



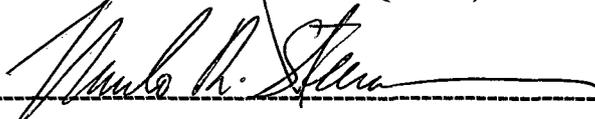
Prof. Antônio Fábio Carvalho da Silva, Dr. Eng.
Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA



Prof. Carlos Alberto Schneider, Dr. Ing.
Orientador

Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D.



Prof. Marcelo Ricardo Stemmer, Dr. Ing..



Ricardo Antônio Pralon Santos, M. Eng.

SUMÁRIO

RESUMO	iv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 MEIOS PARA A EVOLUÇÃO DAS MANUFATURAS	1
1.1.1. Gestão para a introdução de melhoramentos contínuos	1
1.1.2. Emprego do computador	2
1.1.3. Sistemas de Planejamento e Controle da Produção	2
1.2 MANUFATURA FLEXÍVEL	4
1.2.1 Conceituação de FMS e FMC	4
1.2.2. Exemplificação de FMS	6
1.3 GERENCIAMENTO EM FMS	6
1.4 PLANO DE TRABALHO	8
2. ESPECIFICAÇÃO FUNCIONAL DA MTQA	10
2.1 GESTÃO ECONÔMICA DE FMS - TÓPICOS	10
2.1.1 Conceitos associados à Gestão Econômica de FMS	10
2.1.2 Análise da lucratividade de FMS	11
2.2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES BÁSICAS DA MTQA	13
2.2.1 Conceitos	13
2.2.2 Princípio de controle da produção com o gerenciador	15
2.2.3 Tarefas da MTQA	15
2.2.4 Estrutura do software	17
2.3 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO DE FMS	17
2.3.1. Sistemática do Planejamento da Produção	18
2.3.2. Informações geradas pelo Planejamento da Produção	21
2.4 CONTROLE DA PRODUÇÃO	22
2.4.1. Atribuições do Controle da Produção.	22
2.4.2. Conceitos associados ao Controle da Produção	22
2.4.3. Sistemática do Controle da Produção	23
2.5 PLANEJAMENTO DE MELHORIAS	26
2.5.1. Conceitos associados ao Planejamento de Melhorias	26
2.5.2. Sistemática do Planejamento de Melhorias	26
3. ESPECIFICAÇÃO FUNCIONAL DO SOFTWARE DA MTQA	30
3.1 REQUISITOS FUNCIONAIS DO SOFTWARE DA MTQA	31
3.2 REPRESENTAÇÃO DO COMPORTAMENTO FUTURO DA PRODUÇÃO DA FMS	32
3.2.1. Conceitos associados à representação do comportamento da produção	32
3.2.2. Utilização da Rede de Petri Temporizada no módulo "Programador da Produção"	32
3.3 MODELO LÓGICO DO SOFTWARE DA MTQA	34
3.3.1. Módulo "Programador da Produção"	34
3.3.2. Módulo "Supervisor"	36
3.3.3. Interação entre os módulos do software	36

3.4 ESPECIFICAÇÃO DA INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (MMI)	36
3.4.1. Entrada de dados	38
3.4.2. Sistemática para comandar o processamento de informações	40
3.5 ARQUITETURA DO SOFTWARE	42
3.5.1 Tópicos do projeto do módulo "mapeia FMS"	42
3.5.2. Tópicos do projeto do módulo "jogador de fichas"	42
3.5.3 Opção por Programação Orientada a Objetos (oop)	42
4. EXEMPLO E ANÁLISE DE UMA APLICAÇÃO DO SOFTWARE DA MTQA	45
4.1 UMA FMS PARA O TESTE DO SOFTWARE DA MTQA	46
4.2 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO	50
4.2.1. Avaliação do diálogo na entrada de dados para a MTQA	50
4.2.2. Teste de Prazos	50
4.2.3. Carregamento de Ordem de Serviço	51
4.2.4. Despacho da Programação	51
4.2.5. Avaliação do grau de automação das tarefas do Planejamento	53
4.3 CONTROLE DA PRODUÇÃO	55
4.3.1. Supervisão manual da Programação	55
4.3.2. Supervisão automática da Programação	55
4.3.3. Avaliação do grau de automação das tarefas do Controle da Produção	56
4.4 PLANEJAMENTO DE MELHORIAS	57
4.4.1. Determinação do gargalo de recurso	57
4.4.2. Determinação do retorno de uma melhoria	57
4.4.3. Avaliação do grau de automação das tarefas do Planejamento de Melhorias	59
4.4.4. Exemplificação da determinação do retorno de uma melhoria	59
5. ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO DA MTQA AO AMBIENTE CIM	61
5.1 REQUISITOS PARA SOLUÇÕES CIM	64
5.1.1. Processamento distribuído	64
5.1.2. Padronização do Software	64
5.2 INTEGRAÇÃO DO SOFTWARE DA MTQA COM AS DEMAIS ÁREAS DA INDÚSTRIA, DENTRO DO MODELO CIM	65
5.3 ESPECIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO CIM DA UFSC/CERTI	66
6. CONCLUSÃO	69
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

RESUMO

Para o gerenciamento de Sistema Flexível de Manufatura (FMS), deve-se dispor de um sistema de controle em tempo real do resultado econômico de sua produção, integrado com um sistema de controle da introdução de melhoramentos contínuos. Tal ferramenta é necessária para a garantir a competitividade, em face do atual acirramento na concorrência pelo mercado consumidor.

Neste sentido, foi desenvolvido, no contexto da presente dissertação, a técnica de gerenciamento MTQA. Ela é constituída de procedimentos gerenciais, assistidos por computador. Funcionalmente, o controle da produção da FMS usando a MTQA é subdividido em tres níveis hierárquicos, aqui identificados como Planejamento da Produção, Controle da Produção, e Planejamento de Melhorias.

Os procedimentos para o Planejamento da Produção constam de um ciclo interativo onde a gerência identifica as restrições (gargalos) que limitam, no período a ser programado, a expansão do resultado líquido da FMS, sequencializa e dimensiona as ordens de serviço para racionalizar a ocupação da(s) restrição(ões) de recurso produtivo - garantindo o resultado líquido máximo -, e completa a programação considerando entregas just-in-time no horário de ocupação das restrições, com antecipação intencionalmente especificada para garantir a confiabilidade do Programa de Produção. A ferramenta básica para esta etapa é um software que modela o comportamento da produção, usando Rede de Petri Temporizada.

O Controle da Produção baseia-se na supervisão do cronograma de recebimentos dos insumos à(s) restrição(ões). Havendo atrasos, a gerência deve acompanhar as tarefas que estão comprometendo a programação - garantindo o seu cumprimento - e, diante de perturbações mais sérias, tomar medidas de exceção para ajustar o volume de produção. Considerando-se o atraso atribuído a cada perturbação, pode-se avaliar a importância relativa de cada problema que afeta a qualidade total dos produtos (adequação do projeto, qualidade de conformidade, custos acessíveis, confiabilidade de prazos de entrega). O Controle da Produção é apoiado pelo software da MTQA, que gera telas para apontamento da produção, e controla o andamento da fabricação.

No Planejamento de Melhorias é sistematizado o cálculo do retorno econômico na implantação de melhorias - estabelecido pela relação entre o adicional de lucro a ser gerado, com o custo da melhoria. É considerado o adicional de lucro associado ao alívio que a melhoria propiciará à(s) restrição(ões) de recurso; para tanto, identifica-se essa(s) restrição(ões) através do software que modela o comportamento da produção.

A modelagem do comportamento da produção permite a representação dos paralelismos e concorrências pela ocupação dos recursos, gerando informações reais de tempos de processo de fabricação. Foi desenvolvida Interface Homem-Máquina com terminologia própria do chão-de-fábrica/Engenharia.

Testes do software, empregando dados de fabricação de produtos metalúrgicos, indicaram tempo de resposta da ordem de 1 (um) minuto para a geração de programa de produção semanal de uma FMS. Essa rapidez de resposta torna viável a aplicação da MTQA.

ABSTRACT

The management of a Flexible Manufacturing System (FMS) requires a real-time control system of the economical results of the production process, together with a continuous improvement introduction control system. This tool is necessary for the manufacturing competitiveness, especially for companies facing the world's increasingly competitive market.

For that, it has been developed, in the context of this dissertation, the management technique MTQA. This technique is composed of computer aided management procedures. Functionally, the FMS production control using the MTQA is divided into three hierarchical levels, herein identified as Production Planning, Production Control, and Improvements Planning.

The Production Planning procedures consist of an interactive cycle, in which the Manager identifies the bottle-neck(s) that limit, within the period being planned, the FMS economical result, sequentializes and dimensions the production orders in order to rationalize the use of the bottle-neck(s) - ensuring the best economical result -, and completes the scheduling, considering just-in-time deliveries at the point that the bottle-neck(s) starts its jobs, considering an intentional anticipation - to guarantee the production program confiability. The basic tool for that is a production behavior modeling software, using Temporized Petri Nets.

The Production Control is based on the supervision of the bottle-neck(s) supplies delivering schedule. In case of delays, The Manager might follow-up the jobs which are delaying the production-flow - to guarantee the schedule -, and, in case of serious perturbations, take exception steps to adjust the production volume. Considering the delay of each perturbation, it is possible to realize the relative importance of each problem that affects the products Total Quality (project fitness, conformity quality, accessible costs, deliveries confiability). The Production Control is aided by MTQA software, that provides windows for the production supervision, and controls the production course.

For the Improvements Planning, the MTQA system calculates the economical return of improvement introduction - settled to be the relation between the additional profit and the improvement costs. The additional profit is the result of the bottle-neck alleviation. For that, the bottle-neck(s) are identified using the production behavior modeling software. This modeling system allows representing the parallelism and concurrence for the resources, getting real production throughputs time information. Man-machine interface using plant-floor and engineering terminology was developed.

Software tests, using metallurgic production data, showed response time of 1 (one) minute when programming the weekly production plan for a FMS. This response time shows the MTQA viability.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O panorama mundial apresenta uma competição crescente entre as indústrias manufatureiras. Essas indústrias necessitam incrementar, continuamente, a qualidade e a produtividade para manter sua posição competitiva, em vista do comportamento cada vez mais seletivo dos consumidores /1,2/.

O mercado tem demandado uma diversidade crescente de produtos manufaturados, e ao mesmo tempo, é cada vez menor o tempo de vida comercial desses produtos - desafiando as indústrias a reunirem condições internas para responder, rapidamente, ao mercado, buscando produtividade alta em lotes de fabricação pequenos /1,2/.

Para garantir a sua competitividade, uma manufatura dispõe basicamente dos meios abordados a seguir .

1.1 MEIOS PARA A EVOLUÇÃO DAS MANUFATURAS

Uma empresa manufatureira, na atual conjuntura mundial, busca sua evolução aplicando técnicas de gestão que introduzam melhoramentos contínuos em todas as áreas, modernas tecnologias auxiliadas por computador e a sistematização da produção. Para garantir efetivamente a competitividade é fundamental que soluções relativas à cada um desses meios sejam adotadas.

1.1.1. Gestão para a introdução de melhoramentos contínuos

Deve ser empregado um modelo gerencial que sistematize a introdução de melhoramentos contínuos. Destaque-se a metodologia do Controle Total da Qualidade (TQC) /2/, onde através de

um sistema de gerenciamento participativo, cada processo (função, operação ou serviço) é controlado para garantir (Gerenciamento para Manutenção) e aprimorar (Gerenciamento para Melhoria) a Qualidade Total da empresa, que considera não somente a qualidade intrínseca do produto/serviço, mas também seu custo, prazo de entrega, a moral dos empregados e a segurança de todos os envolvidos.

No TQC o controle de processo é realizado através de um ciclo de planejamento - onde são definidas as metas para os resultados e são estabelecidas as padronizações de funcionamento para alcançar as metas -, execução dos padrões no processo, verificação da realização das metas - através do acompanhamento de índices numéricos associados aos resultados do processo -, e atuação corretiva para corrigir de forma definitiva eventuais desvios detectados - garantindo a introdução de melhoramentos contínuos. Esse ciclo de planejamento, execução, verificação e atuação corretiva é denominado PDCA.

1.1.2. Emprego do computador

Utilizando potencial dos computadores, as tecnologias industriais passaram a ser apoiadas por computador, nas diversas áreas das empresas manufatureiras: Projeto (CAD), Fabricação (CAM), Planejamento de Processos (CAPP), Qualidade (CAQ), Engenharia (CAE), e Produção (CAP) /3/. O passo culminante na automação das manufaturas é a implementação da Manufatura Integrada por Computador (CIM), cujos pontos principais são /3,4,5,6/:

- integra as áreas da manufatura através de redes de computadores;
- promove engenharia concorrente;
- arranja o chão de fábrica em células e sistemas flexíveis de manufatura, para associar produtividades altas com flexibilidade.

1.1.3. Sistemas de Planejamento e Controle da Produção

Sistemas de Planejamento e Controle da Produção (PCP) visam garantir a elaboração e realização de um programa de atividades de produção que gere o maior valor agregado (em termos financeiros), em conjunto com volumes reduzidos de materiais em processo e a racionalização

dos custos de fabricação. Na atual conjuntura apresentam-se tres metodologias distintas de PCP, comentadas a seguir.

a) Metodologia "Push":

Nessa metodologia, que é a mais usual nas manufaturas, a produção é "empurrada" para o mercado. Seu propósito é a racionalização da produção através do controle sobre os custos. Ela apresenta as seguintes restrições /7,8,9/:

- mantém elevados inventários de produtos em processo e de produtos acabados;
- acarreta tempos médios de fabricação (lead-time) elevados para os produtos da manufatura.

Exemplos de implementação de "Push" são o MRP (Material Requirements Planing) e o MRPII (Manufacturing Research Planing).

b) Metodologia "Pull":

Nessa metodologia a produção é "puxada" pelo mercado. São estabelecidos níveis de estoque de referência para cada estação de trabalho, sendo controlado localmente o processo para a manutenção desses níveis. O gerenciamento participativo resultante (distribuido entre as várias estações de trabalho) simplifica o controle sobre a produção /7,8/.

Relativamente à metodologia "Push", a metodologia "Pull" propicia expressivas reduções de inventários e do lead-time de fabricação /7,8/.

A metodologia "Pull" apresenta restrições de flexibilidade, pois apresenta resultados insatisfatórios para carteiras de produção diversificadas onde predominem lotes pequenos /7,8/. Seu exemplo mais usual é a tecnologia Just-in-Time/Kanban.

c) Gerenciamento pelas Restrições:

A Teoria das Restrições (TOC) apresenta um modelo para PCP baseado nos seguintes pontos /1,9,10/ :

- planejamento da produção para garantir o maior valor agregado da produção, através de programação para ocupação plena do recurso gargalo;
- programação dos recursos não críticos subordinada à programação do gargalo, balanceando-se o fluxo da produção pelo ritmo do recurso crítico.

Em comparação a metodologia "Push", a estratégia de balanceamento do fluxo através do TOC acarreta redução dos inventários e dos lead-times /1/. O surgimento da estratégia é recente, sendo exemplo de sua implementação o OPT (Optimized Production Technic) /1 /.

1.2 MANUFATURA FLEXÍVEL

O comportamento do mercado, demandando uma diversidade crescente de produtos, tem levado as empresas manufatureiras a adotar soluções para a flexibilização da sua produção, em busca de alta produtividade na fabricação de lotes pequenos /4,11/. Entre essas soluções, destacam-se as Células Flexíveis de Manufatura (FMC) e os Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS). A figura 1.1 mostra as áreas de aplicação de FMS/FMC na manufatura. Destaque-se que essas tecnologias reúnem altas taxas de produção (taxas relativamente próximas das obtidas com linhas Transfer Flexíveis) e versatilidades usuais de arranjos funcionais de chão-de-fábrica - características que as credenciam como meio para as manufaturas superarem o desafio atual.

1.2.1 Conceituação de FMS e FMC

A literatura apresenta uma variedade de definições para FMC e FMS /4,11/. Utilizou-se na presente dissertação a seguinte conceituação, considerada a mais usual:

- Unidade de Gerenciamento (MgU): unidade computadorizada que supervisiona e controla as atividades internas de uma ou mais unidades de fabricação.
- FMC: conjunto contendo uma máquina-ferramenta CNC com dispositivo de troca de ferramentas, dispositivo de alimentação de peças, e uma MgU. A máquina-ferramenta é capaz de desempenhar mais de uma operação sequencial, em mais de duas peças distintas. Pode conter também uma Unidade de Inspeção (IpU).
- FMS: conjunto contendo máquinas-ferramenta do tipo universal ou especial, e/ou FMC's, Unidade de Manipulação e Transporte (THU) que permite o processamento simultâneo de diferentes peças através de rotas diversas, uma MgU, e, se necessário, estações de trabalho automáticas ou manuais.

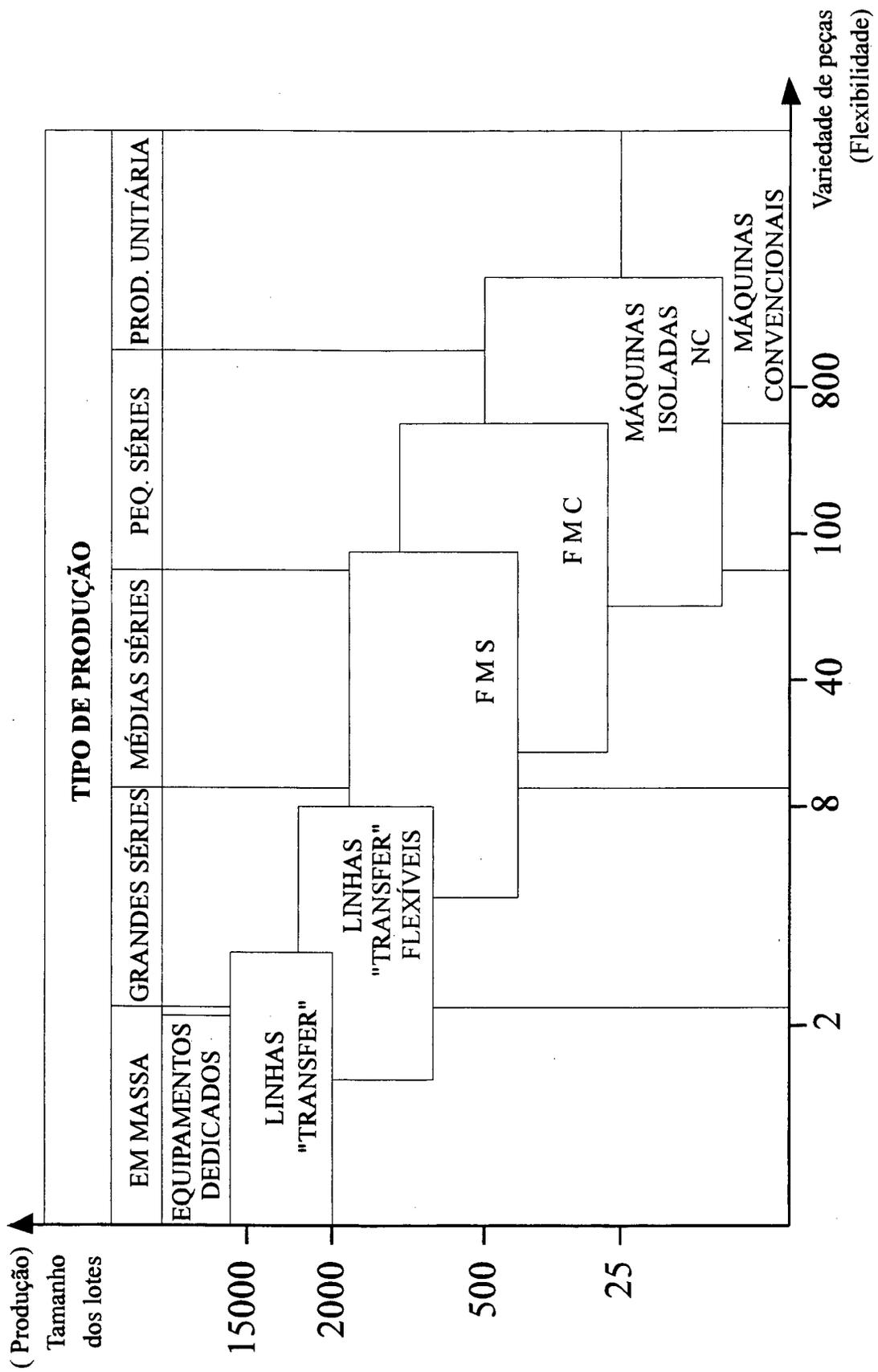


Figura 1.1- Áreas de aplicação de FMS /4/

1.2.2. Exemplificação de FMS /11/

A figura 1.2 apresenta o lay-out de uma FMS que produz servo-motores. Nesta planta são incluídas 60 máquinas-ferramenta CNC no nível térreo, e 49 robos no nível superior, que realizam 65% da montagem. São usinadas 900 diferentes peças, em lotes de 20 a 1000 unidades. Mensalmente são produzidos 10000 motores, de 40 tipos distintos. Para a estocagem é empregado um sistema automatizado de armazenagem e recuperação de materiais (AS/RS), e para a movimentação de pallets, veículos automatizados de transporte (AGV).

1.3 GERENCIAMENTO EM FMS

Gerenciamento é definido como a arte e tecnologia relacionadas com o planejamento, direção e controle do trabalho com vista a um fim específico, de acordo com políticas aceitas /12/.

Entre as atribuições gerenciais básicas em uma FMS destacam-se /4/:

- elaboração da programação dos trabalhos na FMS;
- controle da execução da programação da FMS, comandando ações para ajustar o volume de produção quando ocorrem desvios às metas planejadas.

Adotando-se o modelo gerencial do TQC, devem ser adicionadas as seguintes atribuições à gerência da FMS:

- identificação dos problemas da FMS;
- avaliação da importância relativa dos problemas;
- programação das atividades de revisão das padronizações dos processos a serem melhorados (problemas a serem resolvidos).

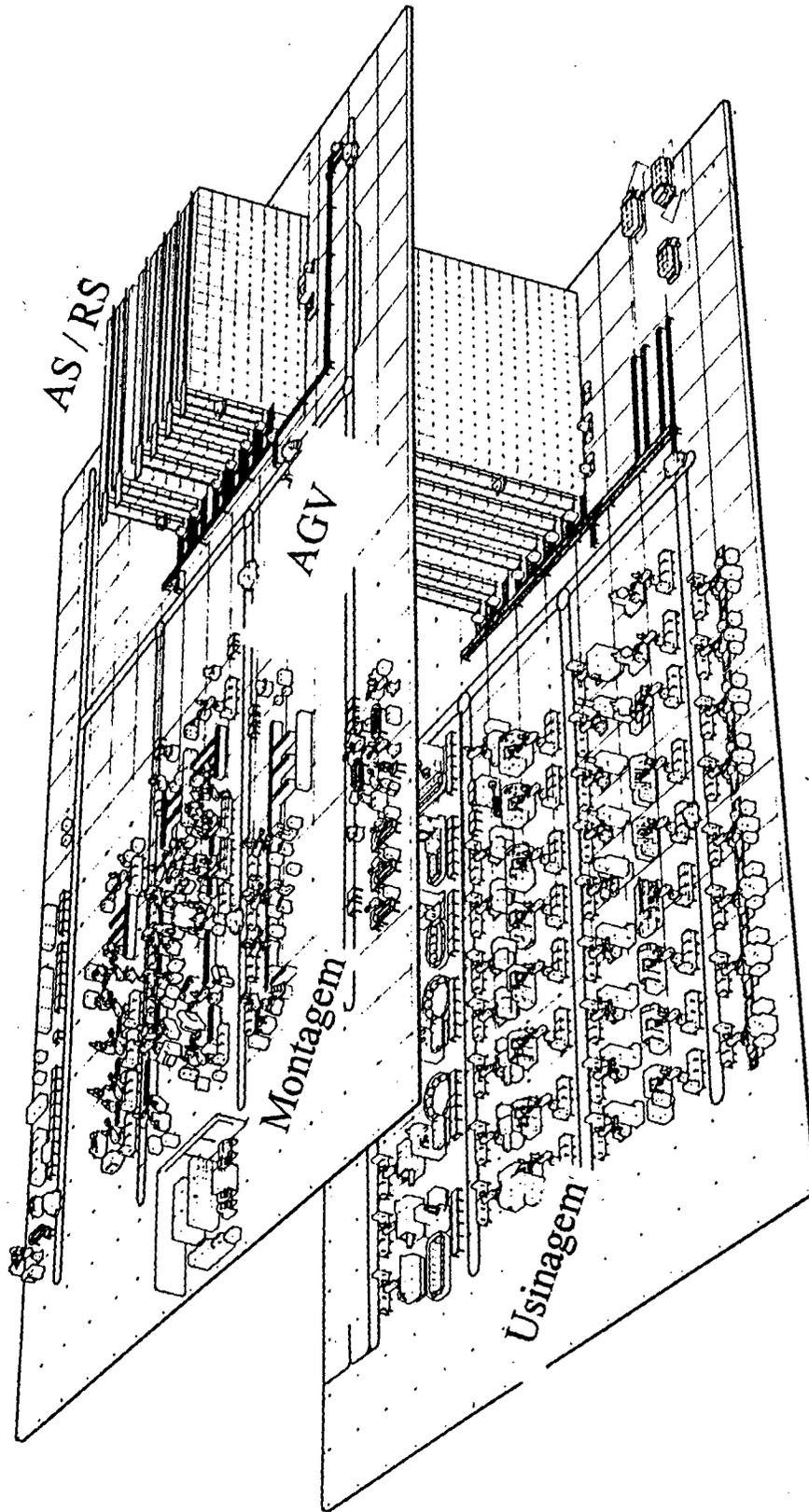


Figura 1.2 - FMS de servo-motores

Problemas em FMS's incluem os processos com qualidade insuficiente: não alcançam a qualidade de conformidade (geram retrabalhos), superam o tempo-padrão, possuem duração de set-up não confiável, possuem gerenciamento local (a nível do processo) não confiável.

Na atividade de gerenciamento, podemos destacar como elementos principais /2,9/:

- os executores (humanware), que possuem os conhecimentos para gerenciar (procedimentos) e que direcionam a renovação das padronizações de cada processo para o melhoramento contínuo;
- as ferramentas (software), que são os aplicativos computacionais que auxiliam os executores, agilizando o processamento de dados.

Destaque-se que o desafio de redução de custos nas manufaturas tem favorecido o surgimento de soluções desassistidas por operador. Funcionamento desassistido já é disponível para acionamento e controle de máquinas-ferramentas, manipuladores, transportadores e unidades de inspeção - onde ocorrem tarefas repetitivas.

Para as FMS's é necessária agilidade do gerenciamento, pois a dinâmica da manufatura flexível pode levar o executor a programar diariamente a produção /13 /.

1.4 PLANO DE TRABALHO

Esta sendo desenvolvida conjuntamente pela Universidade Federal de Santa Catarina e Fundação CERTI (Fundação Centro Regional de Tecnologia em Informática de Santa Catarina) uma solução CIM, destinada a manufatura flexível. A motivação da presente dissertação foi o desenvolvimento de um sistema gerencial que possa ser posteriormente incorporado nesta solução.

Considerando os aspectos ligados a evolução da empresa manufatureira, anteriormente abordados, decidiu-se desenvolver uma solução para gerenciamento de FMS's, assistida por computador, integrando o controle econômico da produção, com o controle da introdução de melhoramentos contínuos, conforme o TQC. No controle dos resultados econômicos da produção da FMS, serão adotados princípios do TOC, que possibilitam conciliar níveis reduzidos de inventários e uma alta

lucratividade. Essa solução passará a ser identificada como Management Technic with Quality Approach (MTQA).

Foram programadas as seguintes fases principais para o trabalho:

- a) Estudo das tecnologias associadas ao gerenciamento de FMS: CIM, TQC, TOC, ferramentas de Engenharia de Software;
- b) Especificação de procedimentos para um modelo gerencial de FMS's. Esses procedimentos visam maximizar o valor agregado da produção, associados com níveis reduzidos de inventários, e garantindo a introdução de melhoramentos contínuos - através do Controle da Qualidade Total;
- c) Desenvolvimento do software de apoio ao gerenciamento de FMS, incorporando um elevado grau de automação para tornar confortável o seu emprego e propiciar tempos de resposta baixos, compatíveis com a dinâmica da produção de FMS;
- d) Análise dos resultados dos testes, para confirmar a adequação das características especificadas para o sistema gerencial - particularmente do software de apoio.

CAPÍTULO 2

ESPECIFICAÇÃO FUNCIONAL DA MTQA

São apresentadas neste capítulo as características funcionais da técnica gerencial desenvolvida para FMS's. Essa técnica será denominada, na sequência do texto, MTQA (Management Technic with Quality Approach). Nela são reunidas funções auxiliadas por computador para o planejamento e controle da produção, integradas com funções para a introdução sistemática de melhoramentos contínuos, consequentes do Controle da Qualidade Total (TQC).

2.1 GESTÃO ECONÔMICA DE FMS - TÓPICOS /1,2,9/

Para o gerenciamento de uma FMS, é fundamental o emprego de instrumentos de controle econômico, que geram informações sobre o impacto das decisões gerenciais na lucratividade da empresa. As decisões gerenciais básicas referem-se a como programar a produção - o que e quando produzir -, e como melhorar os resultados financeiros da produção.

2.1.1 Conceitos associados à Gestão Econômica de FMS

Adotou-se terminologia baseada em critérios da Teoria das Restrições, conforme a seguir. Os conceitos são correlacionados na figura 2.1.

- a) **Exercício:** período de tempo referente ao qual as atividades de produção da FMS deverão ser planejadas. Em FMS's são usuais exercícios quinzenais, semanais ou diários;
- b) **Valor agregado do produto:** resultado líquido gerado com a venda, no exercício, de um determinado produto. Destaque-se que do valor bruto das vendas devem ser deduzidos os custos de compra da matéria prima, bem como serviços e itens de fornecimento de terceiros;
- c) **Valor agregado da produção:** é o somatório dos valores agregados dos produtos;
- d) **Inventário:** soma dos custos de matéria-prima e investimentos de capital (equipamentos, edificações);

- e) Despesa operacional: custos para transformar o inventário em valor agregado - exemplo: mão de obra (direta e indireta), energia elétrica, depreciações, lubrificantes, refugos, impostos;
- f) Lucro: é a diferença entre o valor agregado da produção e a despesa operacional;
- g) Gargalo: é toda condição que restringe, no exercício, a elevação do valor agregado da produção. Os tipos usuais de gargalo são: recurso produtivo (fator de produção), demanda de mercado e prazo de recebimento de insumos. Deve haver apenas 1 (um) gargalo de recurso por FMS , pois estatisticamente não é provável que 2 ou mais fatores de produção sejam ocupados à mesma taxa ao longo de um mesmo exercício;
- h) Fator de contribuição: é a relação entre o valor agregado de um dado produto e o tempo que cada unidade deste produto é processado por um dado gargalo de recurso;
- i) Carteira de pedidos: conjunto de produtos da FMS que o mercado deseja consumir;
- j) Carteira de encomendas: conjunto de itens programados para serem produzidos na FMS no exercício;

2.1.2 Análise da lucratividade de FMS

Em FMS's, o valor agregado da produção é igual a soma dos valores agregados dos produtos, e o valor agregado de um produto, em um exercício, é função de seu fator de contribuição - relacionado com o gargalo de recurso do exercício. O gargalo de recurso é função da carteira de pedidos. A figura 2.1 apresenta um gráfico com a relação entre o valor agregado da produção e a ocupação das horas do gargalo no exercício.

Destaque-se que o lucro aumenta com a racionalização da ocupação do gargalo, devido à medidas internas que otimizem o seu rendimento (aumentando a sua disponibilidade), ou quando se direciona a carteira de encomendas para preponderarem produtos com fatores de contribuição mais elevados - aumentando o valor agregado da produção. O incremento da Qualidade Total dos produtos de uma empresa propicia elevação da demanda por esses produtos, reduzindo os gargalos de mercado, permitindo o aumento do valor agregado da produção.

A redução do inventário favorece o incremento do valor agregado da produção, permitindo que a FMS conquiste mercado devido a maior agilidade no lançamento de versões atualizadas de seus produtos, e incrementa a adequação dos itens produzidos ao projeto (qualidade de conformidade)

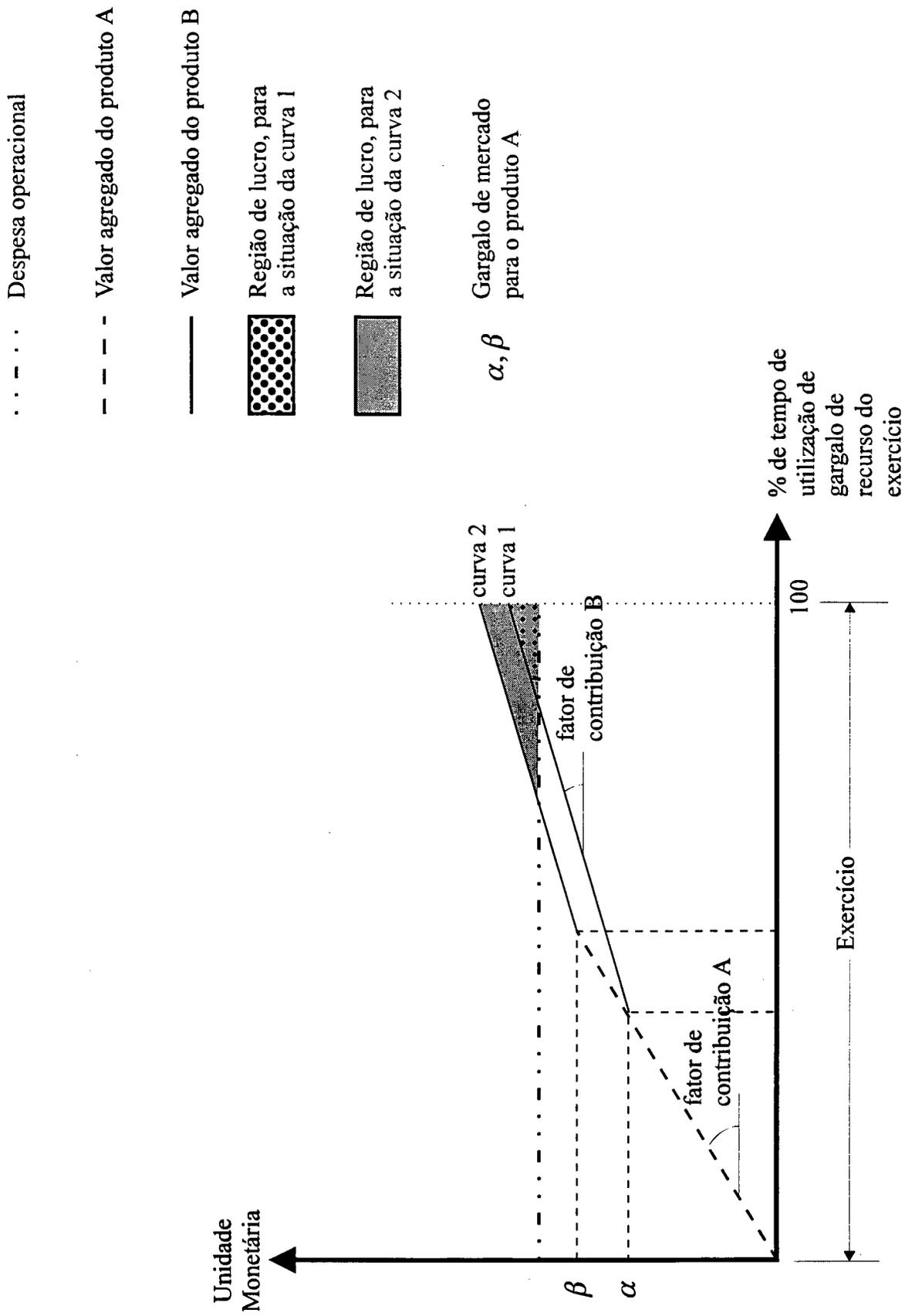


Figura 2.1 - Gráfico da lucratividade de uma FMS

/1/. A melhora da qualidade de conformidade é consequência da aproximação entre os momentos de realização de operações sequenciais de fabricação, que favorece a rastreabilidade de defeitos (provavelmente a operação, que produziu o defeito mantém as condições de operação que geraram a não conformidade).

Observa-se, nas indústrias modernas, que na despesa operacional predominam os custos fixos, e, portanto, ela apresenta, como ilustra a figura, uma fraca correlação com o lucro /1,9/.

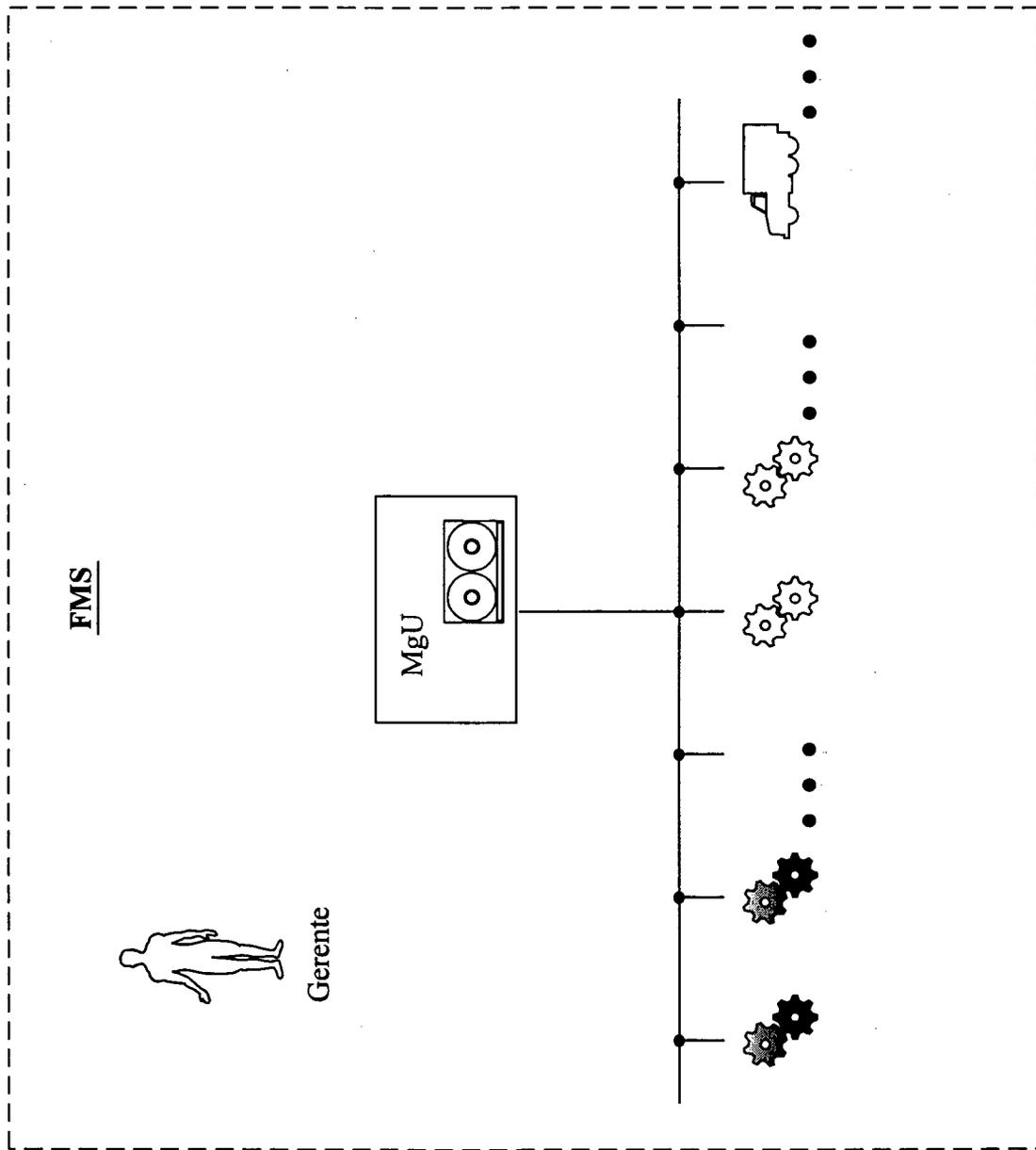
Para permitir a gestão de uma FMS, baseada no controle do valor agregado da produção, faz-se necessário gerar a programação futura das tarefas no chão-de-fábrica, para identificar o gargalo de recurso do exercício, e concentrar-se na otimização de seu desempenho.

2.2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES BÁSICAS DA MTQA

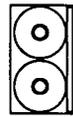
Tendo em vista estar se propondo terminologia, faz-se necessária a apresentação preliminar de conceitos adotados e correlacionados segundo a figura 2.2.

2.2.1 Conceitos

- a) **MTQA:** conjunto de procedimentos a serem adotados no gerenciamento de FMS, sendo constituído de procedimentos manuais - aplicados pelo Gerente (humanware) -, e procedimentos automáticos - executados pelo Software da MTQA. O Software da MTQA é fisicamente instalado na plataforma computacional que implementa a MgU da FMS;
- b) **Gerente:** elemento humano encarregado de gerenciar a FMS;
- c) **Software da MTQA:** aplicativo computacional que gera informações básicas para a realização das tarefas da MTQA. O software é dividido em módulos;
- d) **Programa de Produção:** relação dos horários para o início e o término de cada tarefa em cada estação de trabalho da FMS.



Simbologia



Software do MTQA



FMC



Estação de trabalho:

- Máquina ferramenta
- Bancada de montagem
- Bancada de testes



Unidade de transporte:

- Robô
- AGV

Figura 2.2 - Interrelação física entre FMS, FMC e o MTQA

2.2.2 Princípio de controle da produção com o gerenciador

Uma FMS gera valor agregado de produção (resultado do processo), utilizando os recursos de inventário e aqueles associados à despesa operacional (entradas do processo). Os procedimentos de controle da MTQA implementam um gerenciamento em tempo real sobre a produção dos gargalos, para garantir a realização das metas de valor agregado da produção e identificar, sistematicamente, as causas de problemas que afetam a produção dos gargalos - motivados por atributo(s) da Qualidade Total não atingido(s) em algum processo da FMS.

Para controlar a introdução de melhorias - destinadas a eliminar causas de problemas indetificados e/ou para estabelecer novas e mais restritivas metas para itens de controle de processos participantes da FMS /2/ -, calcula-se o retorno financeiro da melhoria, que é a relação entre o incremento do valor agregado nos gargalos dos exercícios futuros com o custo da mesma.

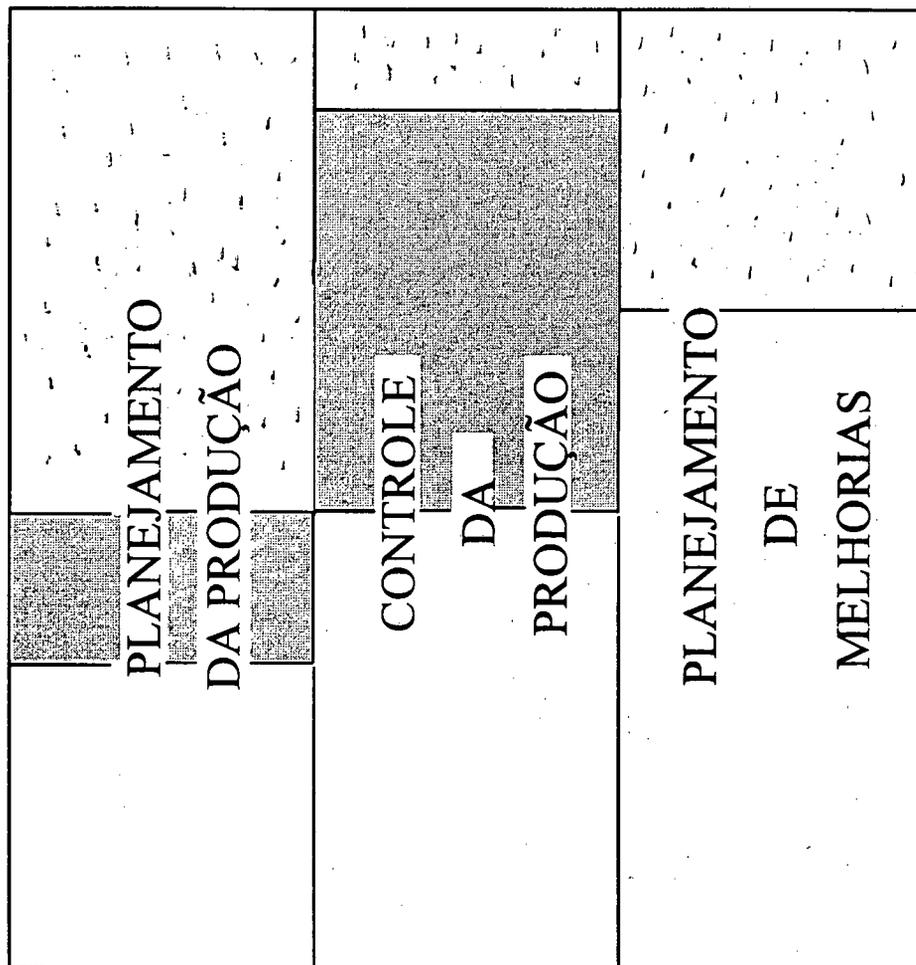
2.2.3 Tarefas da MTQA

É a seguinte a divisão de tarefas da MTQA (figura 2.3):

- a) Planejamento da Produção: procedimentos para estabelecer o Programa de Produção da FMS que garanta o máximo valor agregado da produção associado a níveis reduzidos de inventários;
- b) Controle da Produção: procedimentos para verificar a realização do Programa de Produção, identificar desvios (problemas), e comandar ações para ajustar o volume de produção. Essas funções correspondem aos procedimentos de Verificação e Atuação Corretiva, do PDCA do Gerenciamento para Manutenção, do TQC;
- c) Planejamento de Melhorias: procedimentos para quantificar o benefício associado às melhorias. Essas funções correspondem à procedimentos da tarefa de Planejamento, do PDCA de Gerenciamento para Melhorias.

Os procedimentos da MTQA permitem integrar a função gerencial na FMS com o moderno sistema gerencial, baseado no TQC, que aborda toda a empresa.

MTQA



TAREFAS

Figura 2.3 - Relacionamento do software com as tarefas do MTQA

2.2.4 Estrutura do software

Para um melhor resultado no desenvolvimento do software, o mesmo foi dividido em módulos. Segue descrição da funcionalidade dos módulos principais:

- a) "Programador da Produção": gera o Programa de Produção, para as condições de funcionamento da FMS estabelecidas pelo Gerente.
- b) "Supervisor": processa os apontamentos da produção da FMS - dados de quantidades de recursos produtivos (por exemplo: torno tipo X) disponíveis, quantidades de material em processo disponível para abastecer cada estação de trabalho, e quantidades de produtos acabados.

A participação relativa dos procedimentos manuais e automáticos nas tarefas da MTQA é ilustrada na figura 2.3.

Fisicamente o Software da MTQA é instalado na MgU do FMS. Destaque-se que a integração dos setores da manufatura, na direção do modelo CIM, levará a inserção na MgU de funções para a comunicação direta com as máquinas-ferramentas no chão-de-fábrica, e com os setores de Engenharia de Processos, Garantia da Qualidade e Planejamento da Produção (a nível corporativo). Em função do usual gradualismo na implantação do CIM, optou-se por dotar a MTQA de Interface-Homem-Máquina universal para a entrada manual de dados.

2.3 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO DE FMS

Os procedimentos do Planejamento da Produção de FMS visam gerar um Programa de Produção que garanta valor agregado ótimo associado a baixos níveis de inventário de produtos em processo e acabados. Esse inventário é intencionalmente programado, correspondendo ao efeito da reserva de tempo - intervalo de tempo de antecipação da entrega programada dos insumos ao gargalo, relativamente ao início programado do processamento desses pelo gargalo. As reservas são estabelecidas para dar confiabilidade à programação dos gargalos, pois interrupções de produção nos gargalos irão reduzir o valor agregado da produção. Elas destinam-se a neutralizar o efeito de perturbações aleatórias e problemas não previstos quando do modelamento do comportamento da produção, para efeito da geração da sua programação

2.3.1. Sistemática do Planejamento da Produção

A meta do Planejamento da Produção é programar as operações na FMS, de modo a gerar um fluxo de produção balanceado pela capacidade do gargalo de recurso. Tal programa irá assegurar a produção do máximo valor agregado quando o eventual gargalo de recurso for programado para produzir ininterruptamente (a confiabilidade das entregas ao gargalo é dada pelas reservas de tempo) a carteira de encomendas que gera a maior taxa de variação do valor agregado, e propiciará níveis reduzidos de inventários quando o programa dos abastecimentos ao gargalo levar a entregas justas no início da reserva de tempo (entregas just-in-time) /1,9/.

O esquema de entradas de dados / saídas de informações no Planejamento da Produção é ilustrado na figura 2.4.

Para ajustar um Programa de Produção que alcance a meta do Planejamento da Produção, são previstos os seguintes passos:

- a) Remoção dos conflitos entre as intenções de vendas e a capacidade interna de produção:
O resultado deste passo é o ajuste da carteira de encomendas. Para isso, o Gerente obtém, através do módulo "Programador de Produção", as informações dos prazos de entrega e do gargalo de recurso, para as condições de carregamento da FMS que ele interativamente vai testando, até a equalização dos compromissos de vendas com a capacidade de produção. Havendo gargalo de recurso, o gerente deve priorizar a programação de produtos em escala do fator de contribuição. Também devem ser observadas conveniências mercadológica da empresa, tais como, quais clientes devem ser privilegiados, e parcelamento de entregas. O software considera os tempos de set-up nas estações de trabalho. Neste passo o escalonamento dos lançamentos das encomendas à produção é deixado livre.
- b) "Explora" gargalo de recurso para obter o máximo valor agregado da produção da FMS:
O Gerente se concentra neste passo em racionalizar a ocupação do gargalo, através do escalonando de operações de modo que mais economize tempo de set-up neste recurso, dimensionando lotes para minimizar o tempo total de set-up no gargalo, e provendo horas-extra para este. O módulo "Programador da Produção" é empregado pelo Gerente para visualizar os efeitos de suas decisões nos prazos de entrega. Eventualmente, em função do adicional de capacidade conseguido para o gargalo, o Gerente pode retornar ao passo a) para aumentar o carregamento da FMS.



Figura 2.4 - Planejamento dos processos na FMS

c) Geração do Programa de Produção considerando as reservas de tempo:

Neste passo o Gerente informa ao módulo "Programador da Produção" a programação dos gargalos e as reservas de tempo, e o software completa o Programa de Produção - escalando tarefas para os recursos que abastecem os gargalos de modo a esses produzirem entregas just-in-time no início da reserva de tempo das restrições, através de retroprogramação. Reservas de tempo também devem ser alocados pelo Gerente aos prazos de entrega (produtos acabados), visando dar confiabilidade a realização da meta de valor agregado.

d) Compensação de restrições devido a inclusão da reserva de tempo:

Eventualmente, a inclusão das reservas de tempo pode fazer surgir novo gargalo de recurso, pois a reserva de tempo irá consumir tempo anteriormente disponível das não restrições. Então, em função da estratégia definida na empresa para a confiabilidade do Programa de Produção a ser gerado, o Gerente poderá retornar ao passos a) e b) para redimensionar a carteira de encomendas, de modo a viabilizar a inclusão das reservas de tempo pretendidas.

Convém destacar os seguintes tópicos, a serem considerados pelo Gerente no Planejamento da Produção:

- Os tempos de set-up em FMS's estão sendo significativamente reduzidos devido à tendência de emprego de máquinas-ferramentas CNC;
- A redução do tamanho dos lotes aumenta a flexibilidade, reduz os "lead-times", e incrementa a adequação dos itens produzidos ao projeto (qualidade de conformidade) /1/. A melhora da qualidade de conformidade é consequência da aproximação entre os momentos de realização de operações sequenciais de fabricação, que favorece a rastreabilidade de defeitos (provavelmente a operação que produziu o defeito mantém as condições de operação que geraram a não conformidade);
- No passo b), o Gerente pode tentar utilizar opções de planos de processo se as mesmas acarretarem economia de tempo no recurso gargalo;
- São usuais os horizontes para o planejamento da produção de uma semana, quinzena ou mês /4/. Intermediariamente o Gerente pode ser levado a replanear a produção, em razão de quebra de máquina, falta de operador, volumes elevados de re-trabalhos, cancelamento de pedido, revisão de prioridades de produção ou algum outro distúrbio significativo. Nas FMS's a sensibilidade a esses distúrbios é alta, devido à característica dinâmica de sua produção /4/;

- Nos replanejamentos, conforme o tamanho do distúrbio considerado, o Gerente será levado a refazer (em ordem crescente da magnitude dos distúrbios), os passos c, b e c, ou a,b,c;
- Na alocação de horas-extras o Gerente deve avaliar a redução que poderá ocorrer na produtividade em função do acúmulo das mesmas (o esgotamento dos operadores reduz a eficiência das horas-extras).

2.3.2. Informações geradas pelo Planejamento da Produção

Os resultados de processamentos pelo Software da MTQA são apresentados no monitor da MgU. Os procedimentos do Planejamento produzem as seguintes informações:

- a) **Ordens de Produção:** documento que autoriza o início da fabricação de um produto. Constam as seguintes informações:
 - tipo de produto;
 - quantidade do produto;
 - data, hora e estação de trabalho que inicia a produção.

Para FMS's comandadas por operador, essas Ordens devem ser passadas para o chão-de-fábrica em documento escrito ou em tela específica do coletor de dados. A MTQA produz, na versão atual, documento escrito. Em FMS's automatizadas, as ordens de produção impressas serão substituídas por trocas de mensagens entre a MgU e as máquinas do chão-de-fábrica /4/;

Destaque-se o controle sobre a movimentação dos materiais em processo, subsequentemente ao lançamento da Ordem, se dará diretamente pelo critério do primeiro a chegar, primeiro a ser processado. Esta facilidade decorre do fluxo de materiais ser sincronizado no Planejamento da Produção. Portanto, somente serão necessárias intervenções para resequencializar a produção quando distúrbios sérios ocorrerem (replanejamento da produção).

- b) **Prazos de entrega:** respostas sobre consultas do setor de vendas à MTQA para verificar a viabilidade de aceitar encomendas. O Gerente emprega diretamente as informações do "Programador da Produção", disponíveis em tela na MgU, e as transmite ao setor de vendas;
- c) **Plano Diário de Fabricação:** tela na MgU com os dados do Programa de Produção referente a um dia. Esses dados são empregados pelo Gerente para supervisionar o andamento da fabricação.

2.4 CONTROLE DA PRODUÇÃO

O Controle da Produção inclui os procedimentos para garantir a realização do Programa de Produção. Essa tarefa é básica para a identificação sistemática dos problemas da FMS, e a classificação dos mesmos em função de seu efeito no valor agregado da produção.

2.4.1. Atribuições do Controle da Produção.

As atribuições básicas do Controle da Produção são:

- supervisionar a realização do Programa de Produção;
- ajustar, quando houver atrasos, o volume de produção para garantir a realização da meta de valor agregado;
- levantar dados sobre o desempenho dos processos operacionais, indentificando sistematicamente aqueles que são deficientes.

2.4.2. Conceitos associados ao Controle da Produção /1,9/:

Para sistematizar o tratamento do assunto serão inicialmente introduzidos conceitos:

a) Ocupação da reserva de tempo: extensão do atraso na chegada do suprimento ao gargalo. Pode ser expressa em medida de tempo ou em percentual de atraso.

Exemplo: ocupação de 10% - correspondendo a um atraso de 1 hora em uma reserva de tempo de 10 horas;

b) Percentual de atraso: relação percentual entre a extensão da ocupação da reserva de tempo (em unidade de tempo) e a reserva de tempo. No Planejamento da Produção foi levado em conta a probabilidade de ocorrerem problemas devido a falta de padronização ou distúrbios aleatórios - para tanto foi estabelecida reserva de tempo para proteção da produção dos gargalos. Neste sentido, um suprimento tem 0% de chance de ter um percentual de atraso igual a zero, e 100% no fim da reserva de tempo (atraso de uma reserva de tempo) - sendo assumido que a proteção da reserva de tempo é efetiva contra os níveis de distúrbios aleatórios considerados no Planejamento da Produção.

c) Atraso alerta: ocupação da reserva de tempo que justifica o início do acompanhamento direto

- do Gerente aos processos que estão atrasando o suprimento ao gargalo. Exemplo: 33% ;
- d) Atraso crítico: ocupação da reserva de tempo que justifica ações de excepcionalidade para garantir que o gargalo não será desabastecido. Exemplo: 50%;
- e) Frequência de supervisão: intervalo entre os apontamentos periódicos do chão-de-fábrica.

2.4.3. Sistemática do Controle da Produção

O Gerente supervisiona a produção através da observação da realização da programação estabelecida para a chegada dos suprimento nos gargalos. Elegendo a programação de abastecimento dos gargalos como item de verificação /2/ da realização da meta de valor agregado, simplifica-se o controle sobre a produção, pois o Gerente concentrará sua atenção num número pequeno de fatores os quais impactam fortemente a meta (princípio de Pareto). O Software (módulo "Supervisor") identifica automaticamente os desvios.

O esquema de entradas de dados/saídas de informações e ações gerenciais, no Controle da Produção, é ilustrado na figura 2.5.

São realizados dois níveis de controle:

a) Controle preventivo através do acompanhamento da produção:

Para esse controle, deve ser previamente definida a diretriz da empresa para o atraso alerta. O Gerente, ao verificar a ocorrência deste tipo de atraso, deverá acompanhar de perto as tarefas pendentes. São frequentes os atrasos devido a processos mal gerenciados localmente - não cumprem os padrões estabelecidos.

A atenção do Gerente às tarefas pendentes permite a solução das causas mais comuns dos atrasos, as quais produzem consequências limitadas /9/. Destaca-se que muitos distúrbios serão detectados enquanto o processo problemático ainda retém o material, em acordo com a meta de Qualidade na Fonte /14/.

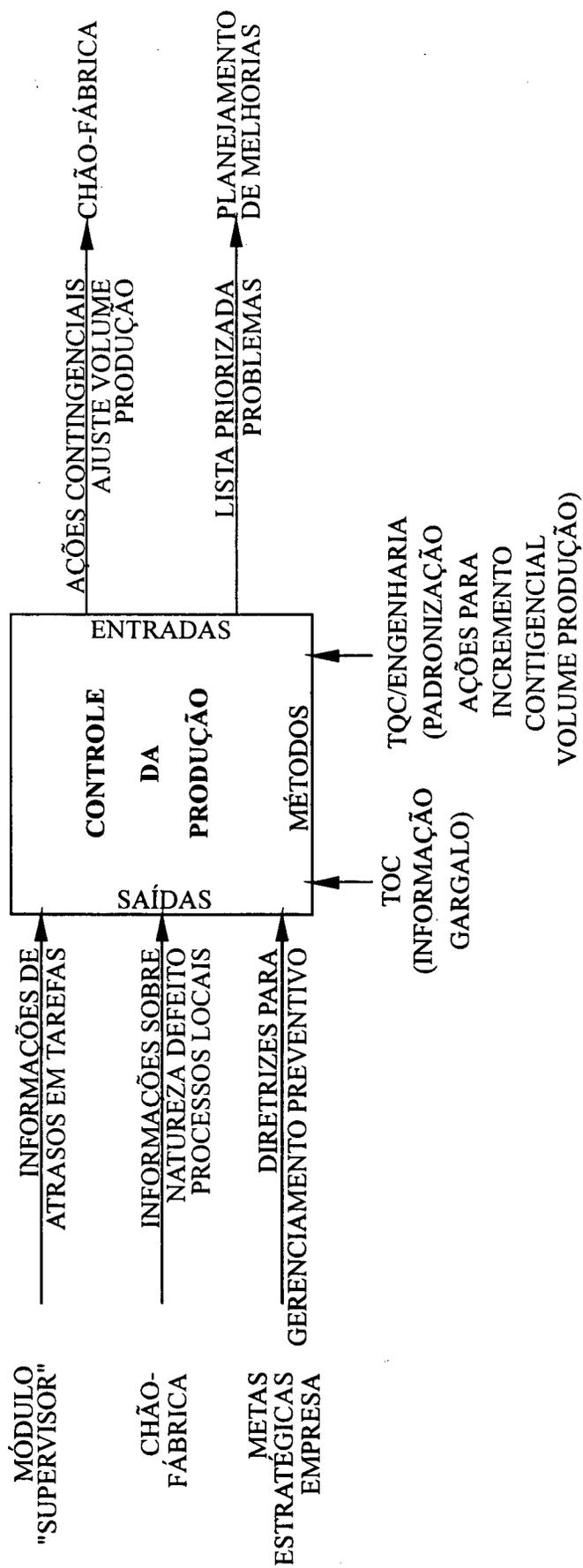


Figura 2.5 - Controle da Produção

b) Controle corretivo através do apressamento da produção:

Para esse controle, deve ser previamente definida a diretriz da empresa para o atraso crítico. O Gerente, ao verificar que o controle preventivo não compensou um atraso e que foi alcançado o atraso crítico, tomará decisões contingenciais para evitar redução no valor agregado da produção, tais como:

- adição de horas-extras;
- remanejamento de recursos;
- utilização de planos de processo alternativos.

Essas medidas poderão comprometer o Programa de Produção atual, levando o Gerente a reorganizar os Planos Diários de Produção afetados. O Gerente deverá compilar os dados dos problemas que geraram ações corretivas, para elaborar a lista ordenada das melhorias a serem empreendidas na FMS. A ordenação desta lista deverá ser pelo total de horas de ocupação da reserva de tempo que o recurso problemático gerou.

A identificação dos recursos problemáticos é facilitada pela análise dos dados do Controle Estatístico do Processo (SPC) /14/.

O atraso alerta e crítico, a frequência de supervisão, e o tamanho das reservas de tempo, devem ser estabelecidos com base no compromisso entre a confiabilidade do controle da produção, e os custos de sobrecargas gerenciais (despesa operacional) e de carregamento de estoque.

Reservas de tempo maiores aumentam a confiabilidade da programação da produção e diminuem o volume de intervenções gerenciais, porém aumentam os lead-times e inventários. Maiores frequências de supervisão aumentam a sensibilidade para a detecção de problemas, porém acarretam maiores custos de apontamento da produção. Atrasos alerta e crítico mais restritivos aumentam a confiabilidade da programação, porém acarretam maiores despesas com gerenciamento.

A prática do uso da MTQA deverá indicar para uma dada empresa o compromisso ideal entre a confiabilidade do programa e os custos de gerenciamento. O incremento da Qualidade Total da empresa aumenta a confiabilidade dos processos, permitindo que sejam reduzidas as reservas de tempo.

2.5 PLANEJAMENTO DE MELHORIAS

O Planejamento de Melhorias inclui os procedimentos para a avaliação sistemática do benefício a ser alcançado com uma solução proposta para um problema da FMS. Destaque-se que o processo de introdução de melhoramentos contínuos é fundamental para garantir a Qualidade Total na empresa, e, por conseguinte, a sua sobrevivência /2/.

2.5.1. Conceitos associados ao Planejamento de Melhorias

Para sistematizar o tratamento do assunto serão inicialmente introduzidos conceitos:

- a) QC Story (Método de Análise e Solução de Problemas - MASP): ferramenta do TQC que incorpora procedimentos para a introdução de melhorias em um processo. As fases do MASP são apresentadas na figura 2.6. Detalhes sobre o MASP são encontrados em /2/.
- b) Retorno de uma melhoria: relação entre o incremento mensal no valor agregado da produção, que é igual ao incremento no gargalo de recurso, devido à melhoria.. Exemplo: 50% , significando que uma melhoria se paga em 2 meses.

2.5.2. Sistemática do Planejamento de Melhorias

O Gerente identifica a importância de uma melhoria na FMS com base no retorno da mesma. As melhorias são soluções propostas para os problemas identificados no Controle da Produção. A figura 2.7 apresenta as informações, e respectivas fontes, necessárias para o Planejamento de Melhorias, bem como as informações geradas neste procedimento.

O retorno é calculado empregando-se a informação do acréscimo de valor agregado, atribuído ao "alívio" do gargalo de recurso. Para tanto o Gerente executa os seguintes passos:

- Identifica o gargalo de recurso, do exercício do mês subsequente. Ele é identificado pelo módulo "Programador da Produção", na simulação do comportamento da produção - onde corresponde ao recurso mais extensivamente utilizado. Para esta simulação o Gerente cadastra os dados disponíveis de previsões de vendas;

FLUXO-GRAMA	FASE	OBJETIVO
①	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância.
②	Observação	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista.
③	Análise	Descobrir as causas fundamentais.
④	Plano de ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais.
⑤	Ação	Bloquear as causas fundamentais.
⑥	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo.
N ⑦	(Bloqueio foi efetivo?)	
⑦	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema.
⑧	Conclusão	Recapitular todo processo de solução do problema para trabalho futuro.

Figura 2.6- Fases do método de análise e solução de problemas do TQC /2/.

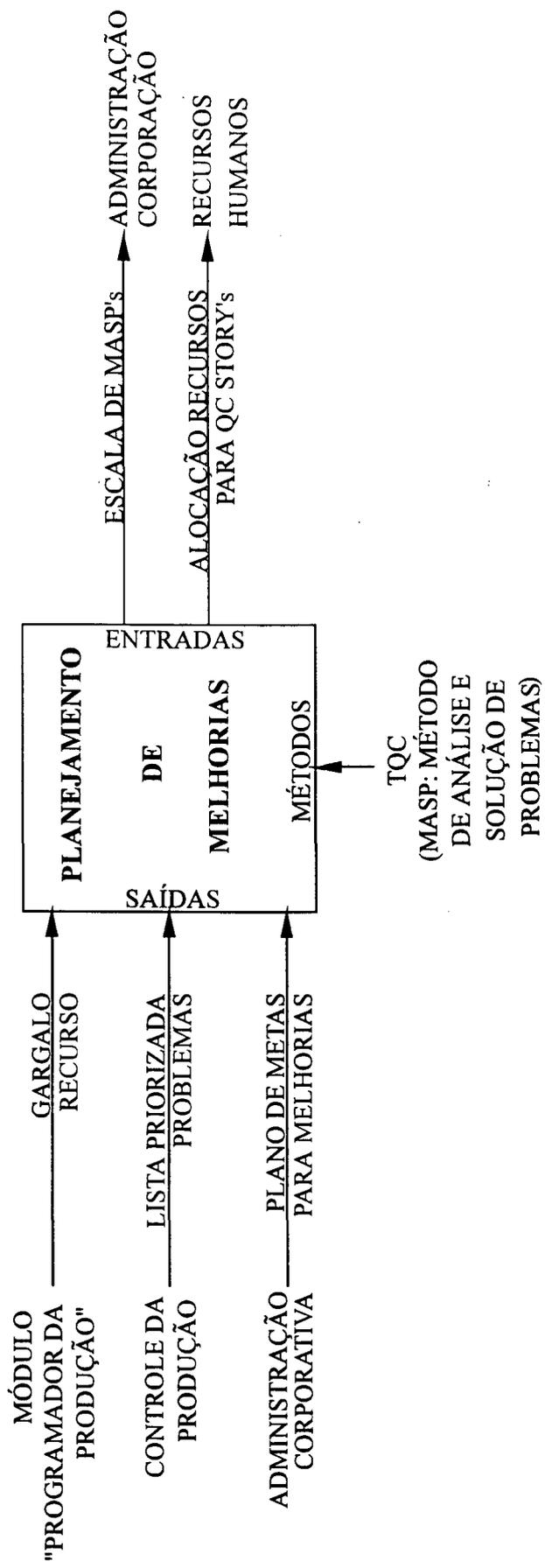


Figura 2.7 - Planejamento de Melhorias

- Entre os produtos que não tiveram a demanda totalmente atendida, conforme os dados da simulação do exercício, seleciona o maior fator de contribuição ao valor agregado do gargalo de recurso (relação entre o valor agregado do produto e a duração do processamento de uma peça no gargalo);
- Estima o tempo a ser liberado, no exercício, do gargalo de recurso, devido a introdução da melhoria. Essa "economia" de tempo de gargalo deve ser estimada, para cada alternativa de solução, de cada problema (melhoria). Para exemplificar este procedimento, se a troca do fluido de corte, no torno que é o gargalo no exercício, reduz em 10% o tempo médio bruto de usinagem, serão liberadas x horas-máquina, sendo $x = \text{duração jornada mensal (horas)}/10$;
- Calcula o valor agregado adicional - correspondente à multiplicação do tempo liberado do gargalo com o fator de contribuição do produto pré-selecionado -, para cada solução de cada problema;
- Usando a estimativa de custo para implementar a melhoria, calcula a relação entre o valor agregado adicional e o custo da melhoria (retorno), para cada melhoria proposta.

Após esse procedimento, o Gerente pode classificar as melhorias pelo seu retorno. Então, baseado nesses fatos e dados, seleciona as melhorias, de acordo com o padrão de retorno mínimo pré-estabelecido pela alta administração. Subsequentemente, o Gerente irá coordenar a implantação do MASP para cada problema selecionado, alocando recursos e pessoal necessários.

Destaque-se que melhorias cujo prazo de implantação é imediato poderão deixar superado o Programa de Produção em curso. Nestes casos o Gerente deverá replanejar a produção.

Se o comportamento do mercado acarretar inconstância do gargalo de recurso entre meses consecutivos, o Gerente poderá obter taxas efetivas de retorno das melhorias. Para tanto, ele simula o comportamento da produção para o maior número de exercícios mensais que a confiabilidade das previsões de vendas permitir (quanto mais distante o mes, menor a confiabilidade). O retorno mensal efetivo será a média dos retornos mensais calculados.

CAPÍTULO 3

ESPECIFICAÇÃO FUNCIONAL DO SOFTWARE DA MTQA

O gerenciamento de uma FMS envolve a etapa de Planejamento da Produção, e o controle da realização das metas planejadas. Utilizando a MTQA, garante-se a qualidade do planejamento, pelo controle do fator de contribuição dos gargalos, e a sua confiabilidade, pela alocação das reservas de tempo. Nessa etapa, o Gerente precisa de um software que indique o comportamento futuro da produção, identifique os gargalos, e simule os efeitos de suas decisões, gerando o Programa de Produção. Para a etapa seguinte, garante-se a qualidade do controle, pela confiabilidade do Programa da Produção, e pela simplicidade de sua realização, através da supervisão da ocupação das reservas de tempo. Esses procedimentos de controle, protegem a meta de valor agregado da produção, e permitem a supervisão da Qualidade Total dos processos da FMS - gerando fatos e dados para a sistematização da introdução de melhoramentos contínuos.

A ferramenta básica da MTQA é o software. Ele é dividido em dois módulos: o módulo "Programador da Produção", que simula o futuro andamento da produção da FMS - permitindo o Planejamento da Produção -, e o módulo "Supervisor", que controla o andamento da fabricação. O software deve ter baixos tempos de resposta, para viabilizar o seu emprego na situação dinâmica da produção das FMS's, e para oferecer conforto ao Gerente - particularmente no Planejamento da Produção, onde ele interativamente testa várias opções de carregamento.

A técnica de modelagem do andamento da produção deve considerar os conflitos e paralelismos na ocupação dos recursos da FMS, para reproduzir confiavelmente os lead-times de fabricação, atendendo as exigências para gerar um Programa de Produção confiável.

3.1 REQUISITOS FUNCIONAIS DO SOFTWARE DA MTQA

O Software da MTQA implementa um programador da produção, que permite o controle do fator de contribuição dos gargalos, e distribui cronologicamente as tarefas de fabricação de modo a realizar entregas just-in-time no início das reservas de tempo. O elemento básico do software é o simulador do comportamento da produção, integrado no módulo "Programador da Produção".

Em relação à interação com o operador (Gerente), o software se divide em uma parte que suporta o diálogo - Interface Homem-Máquina (MMI) -, e uma parte de processamento intensivo - simulador da produção.

O simulador da produção e a MMI atendem a exigências distintas quanto a sua funcionalidade. Para o simulador, é básica a confiabilidade e a rapidez de resposta; para a MMI, é básico o conforto para o diálogo com o Gerente.

Relativamente ao porte do sistema, a limitação é a extensão dos arquivos de dados. O tamanho desses arquivos é função, principalmente, do porte do sistema produtivo a ser modelado. Os sistemas produtivos, no caso de FMS's, tem porte reduzido /4/.

O desenvolvimento da MMI deve favorecer um contínuo aperfeiçoamento, por meio de observações associadas ao seu uso prático (realimentações do Gerente). Procurou-se desenvolver uma MMI básica, estruturada modularmente, para favorecer expansões e revisões.

Para favorecer a reusabilidade e modularidade do software, optou-se pela utilização de Linguagem Orientada a Objetos.

3.2 REPRESENTAÇÃO DO COMPORTAMENTO FUTURO DA PRODUÇÃO DA FMS

Para controlar a produção com a MTQA, deve-se, preliminarmente, estabelecer as metas da produção, através do Planejamento da Produção. Para tanto são necessárias informações sobre a cronologia de carregamento de recursos (Programa de Produção) e sobre o(s) gargalo(s). Essas informações são obtidas através da simulação do comportamento da produção, empregando modelos.

3.2.1. Conceitos associados à representação do comportamento da produção /13,15/.

Se apresentam técnicas específicas para a modelagem de sistemas a eventos discretos, tais como sistemas de fabricação. Na sequência, são apresentados os conceitos fundamentais associados a essas técnicas:

- a) **Sistemas Discretos:** sistemas nos quais a mudança de estado ocorre em instantes definidos. O estado de um componente do sistema é uma abstração de uma informação relevante para descrever sua ação futura - por exemplo, uma determinada máquina pode estar livre ou ocupada.
- b) **Sistemas a Eventos Discretos:** sistemas nos quais os valores das variáveis nos estados seguintes podem ser calculados diretamente a partir dos estados precedentes - sem considerar o tempo entre os dois instantes.
- c) **Rede de Petri (PN):** técnica de modelagem de Sistemas a Eventos Discretos através de equação matricial.
- d) **PN Temporizada:** Rede de Petri onde são definidas as durações das transições de estado dos componentes. Exemplo: duração de torneamento da peça xx na máquina yy igual a 40 s. PN's Temporizadas podem representar o paralelismo e concorrência pelos recursos de uma FMS, sendo apropriados para modelar o comportamento desses sistemas produtivos /9,13,16/.

3.2.2. Utilização da Rede de Petri Temporizada no módulo "Programador da Produção"

O "Programador da Produção" modeliza o andamento da produção através de PN Temporizada.

Este módulo possui dois componentes principais responsáveis pela implementação da PN Temporizada:

- "Mapeador de PN": gera a estrutura da PN a partir dos planos de processo dos produtos da FMS - os planos de processo indicam a interdependência das operações da fabricação -, e atribui os valores iniciais dos estados da PN - correspondentes aos dados do apontamento da produção: quantidades de recursos produtivos e de material em processo disponíveis em cada estação de trabalho. O produto do "Mapeador" é a PN marcada ("marcada" com o estado inicial da produção) que modeliza a FMS;
- "Jogador de Fichas de PN": opera matematicamente a equação matricial associada a PN Temporizada da FMS, obtendo os estados futuros da produção.

Os dados de apontamento de produção, coletados do chão-de-fábrica, são introduzidos no sistema através do módulo "Supervisor". O "Jogador de Fichas de PN" executa o seguinte procedimento na sua operação:

- a) identifica os processos operacionais da FMS ativados. Processos ativados são aqueles que possuem todas as condições para a transição de estado - exemplo: ordem de serviço, operador, matéria prima e máquina-ferramenta disponíveis no posto de trabalho AA para uma usinagem;
- b) obtém novo vetor de marcagens da FMS, indicando as quantidades de itens nos "buffers" de material e de recurso, após o "disparo" do processo ativado;
- c) Ciclicamente executa os passos a) e b) acima até o horário simulado ultrapassar o horizonte definido pelo Gerente.

Este módulo controla a ocorrência cronológica de eventos externos que alteram condições correntes de ativação dos processos. Por exemplo, o software percebe quando o horário da simulação corresponde ao fim da jornada diária de trabalho, zerando as marcagens de operadores. Esse controle é realizado com as escalas de serviço, escalas de manutenção, e a programação de recebimentos de itens de terceiros.

3.3 MODELO LÓGICO DO SOFTWARE DA MTQA

O modelo lógico do Software da MTQA, mostrando as ligações de dados entre seus componentes principais, é apresentado na figura 3.1. Segue descrição dos critérios básicos considerados na estruturação do Software da MTQA.

3.3.1. Módulo "Programador da Produção"

Este módulo implementa o "Mapeador de PN" e o "Jogador de Fichas de PN", e fornece interface interativa para o Gerente introduzir os dados para a modelagem da FMS, através das telas da Interface Homem-Máquina (MMI). Esses dados de modelagem referem-se às condições externas para a ativação dos processos operacionais, sendo o interface implementado através dos seguintes sub-módulos:

- "Cadastra-Planos-Processo", que implementa o diálogo com a Engenharia de Processos (CAPP) para a entrada de dados do planejamento dos processos de fabricação da FMS;
- "Dispõe-Recursos", que implementa o diálogo com o setor de planejamento da produção a nível corporativo, para a entrada de dados de escalas de serviços e de manutenções;
- "Comanda-Processos", que gera o Programa de Produção e as ordens de serviço (FMS's não integradas por computador) ou mensagens de ativação de processos (FMS's integradas).

Esses sub-módulos geram as telas para o diálogo com o Gerente - apresentadas no item 3.3, a seguir -, e arquivam os dados introduzidos. O sub-módulo "Comanda-Processos" gera relatório de Programa de Produção.

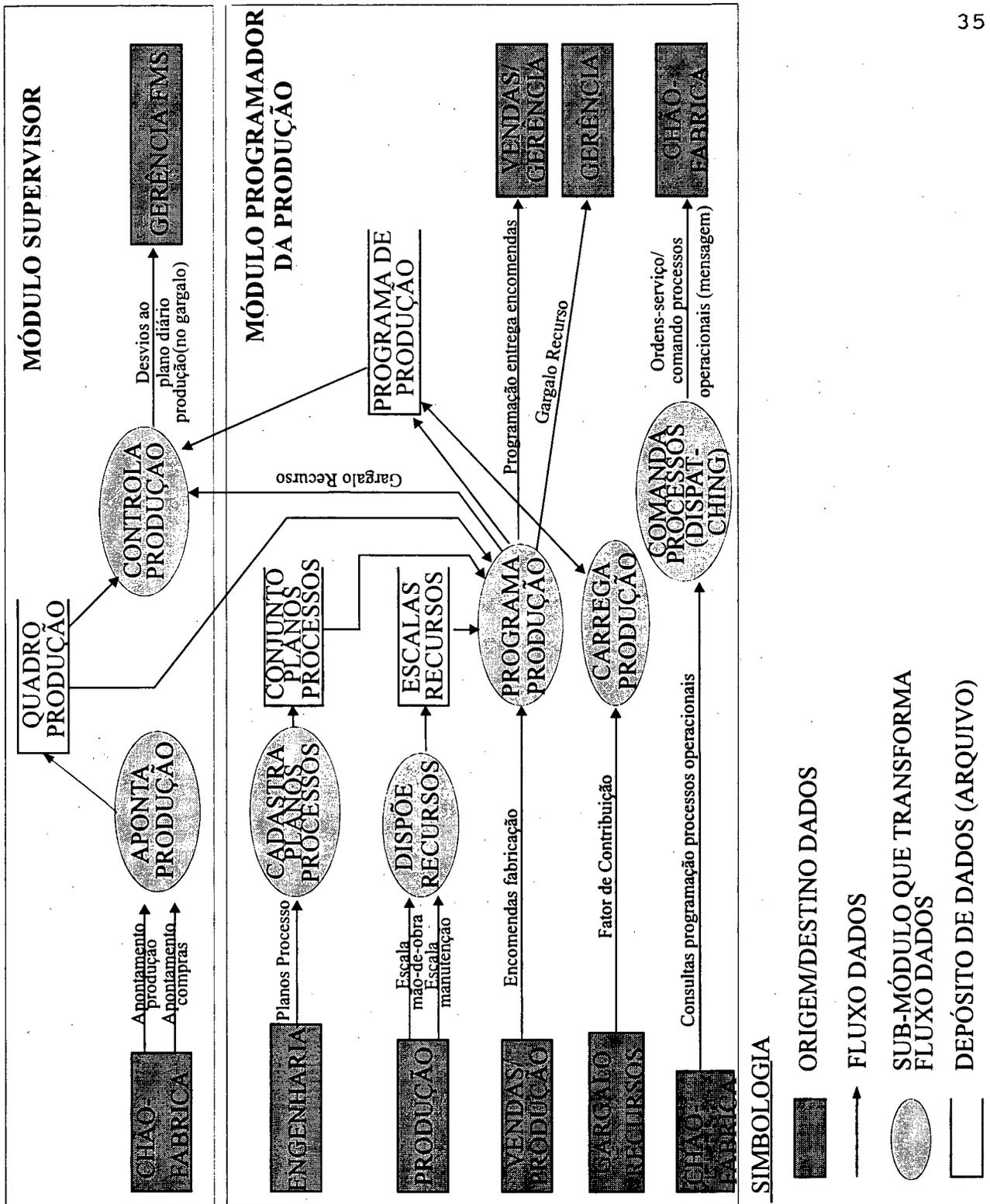


Figura 3.1- Representação lógica do software da MTQA

3.3.2. Módulo "Supervisor"

Este módulo suporta o diálogo com o chão-de-fábrica para a aquisição dos dados do apontamento da produção e processa informações de andamento da fabricação. Sua composição é a seguinte:

- sub-módulo "Aponta-Produção": gera as telas para o apontamento da produção e arquiva seus dados; esses dados serão empregados pelo "Mapeador de PN", para a geração da PN Marcada que modeliza a FMS;
- sub-módulo "Controla-Produção": confere a conformidade da situação real da fabricação com as metas do Programa de Fabricação. Esse módulo deve ser utilizado para o controle específico dos processos que alimentam o gargalo - que correspondem aos itens de verificação para garantir a realização da meta de produção -, simplificando o sistema de informações gerenciais. No entanto, seu emprego é genérico, facultando o acompanhamento do andamento de qualquer processo, para eventuais interesses em geração de estatísticas de produção.

3.3.3. Interação entre os módulos do software

Os módulos "Programador da Produção" e "Supervisor" compartilham os arquivos de dados:

- Dados de apontamento da produção: esse arquivo é mantido pelo módulo "Supervisor" e seus dados são empregados pelo módulo "Programador da Produção", para gerar a PN marcada;
- Informações do Programa de Produção e dos gargalos: arquivo gerado pelo módulo "Programador de Produção", sendo compartilhado pelo módulo "Supervisor", o qual extrai a posição programada da produção, para computar as divergências da posição real.

3.4 ESPECIFICAÇÃO DA INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (MMI)

A MMI da MTQA consiste de telas que suportam o diálogo com o Gerente. A estrutura hierárquica das telas da MMI é apresentada na figura 3.2. As telas da MMI da MTQA são aplicáveis a quaisquer tipo de FMS.

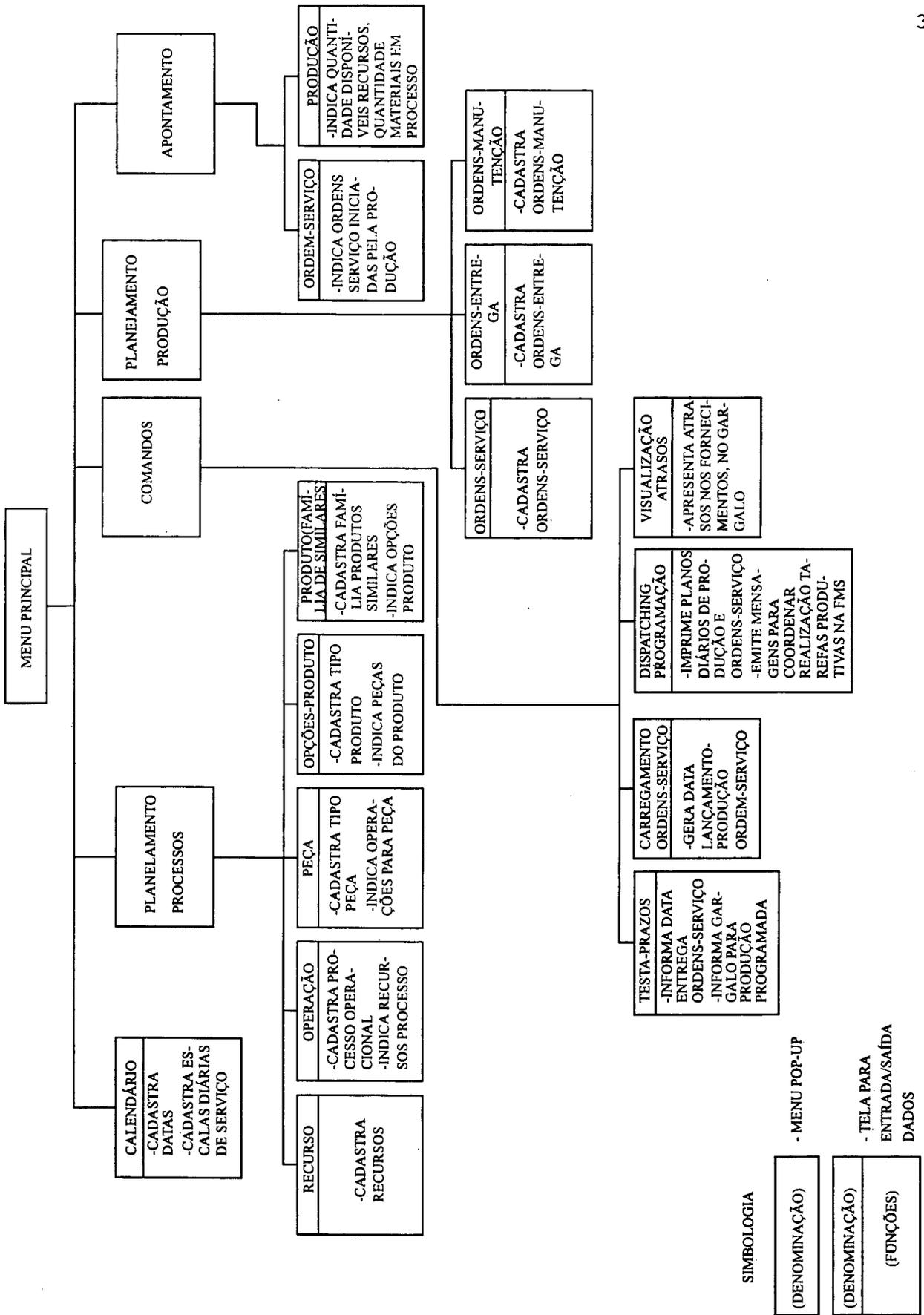


Figura 3.2 - Conjunto de telas do software da MTQA

3.4.1. Entrada de dados

O Gerente modeliza a produção da FMS utilizando telas que suportam diálogo usando a terminologia própria do chão-de-fábrica/Engenharia. Esta facilidade é considerada importante pois o emprego direto de terminologia de PN acarretaria dificuldades para pessoas da indústria.

Tipos de dados de entrada para a modelagem da produção com a MTQA:

a) Planos de Processo:

Os Planos de Processo detalham as etapas da fabricação de um produto ao longo de seu processamento pela FMS. Para a MTQA é empregado um subconjunto dos dados de um Plano de Processo - aqui denominado "Estrutura de Processos".

A figura 3.3 apresenta a hierarquia de uma "Estrutura de Processos". Os componentes de uma "Estrutura de Processos" são os seguintes:

- Recursos: insumos, operadores, dispositivos, maquinário e outros equipamentos necessários para o funcionamento da FMS;
- Operação: é um processamento completo de uma peça por uma estação de trabalho da FMS. Exemplo: usinagem, soldagem, pintura. As operações tem duração determinada;
- Peça: item do produto. As peças passam por uma sequência de operações até uma montagem com outras peças ou entrega final (produto acabado);
- Opção-Produto: conjunto de peças, arranjadas em árvore, que compõem um produto final da FMS. O arranjo em árvore permite modelizar as montagens (várias peças como insumo - folhas -, para produzir a peça final -raiz);
- Produto: família de opções-produto alternativas para a fabricação de um mesmo item final da FMS.

Na MMI da MTQA é fornecida tela específica para cadastrar cada componente da "Estrutura de Processos".

b) Cadastro de escalas de serviço e calendário:

O Gerente informa através de tela as datas do calendário da empresa, e as escalas de serviço da mão-de-obra.

c) Planejamento da produção:

O funcionamento da FMS é comandado pelo Gerente através das ordens à produção:

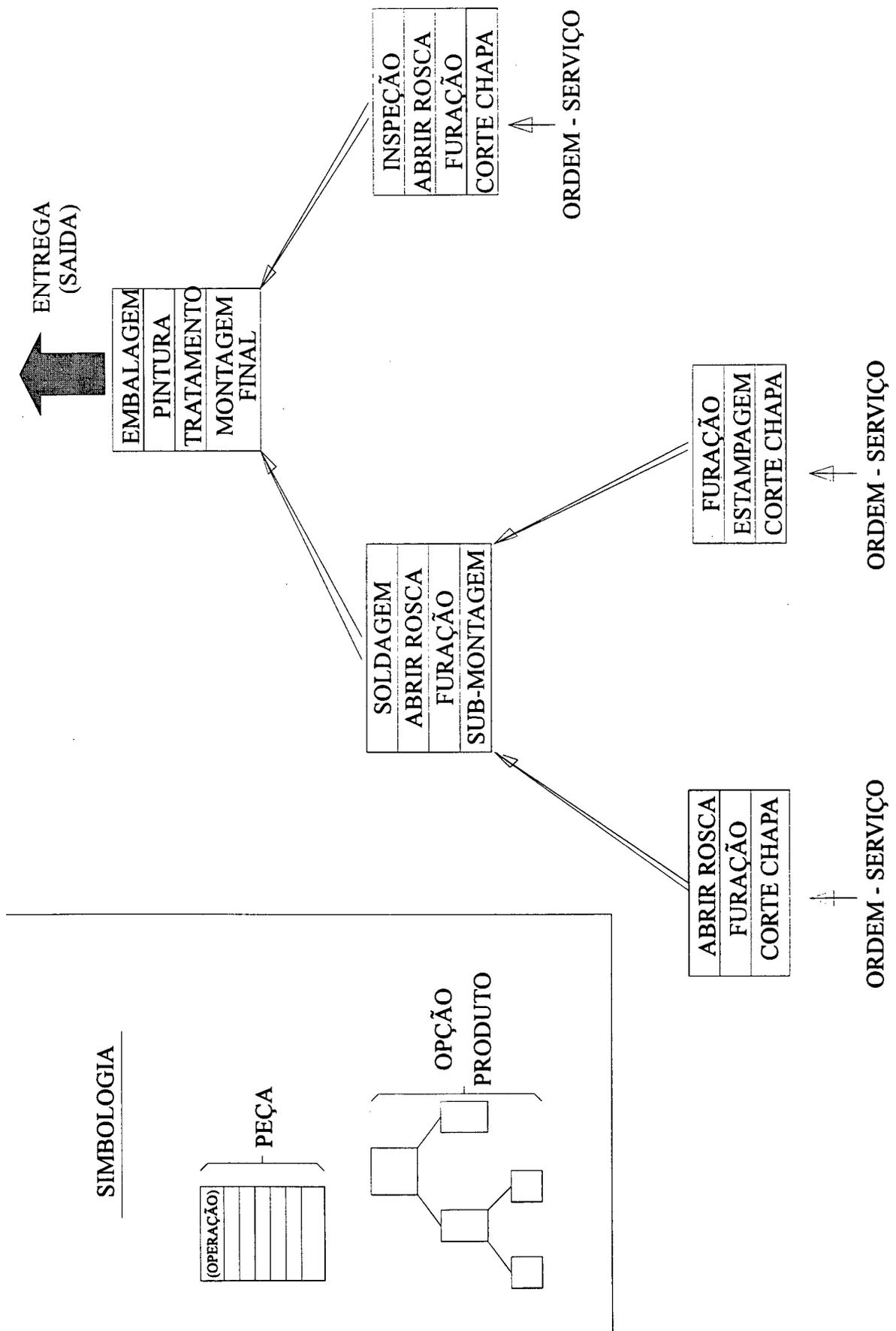


Figura 3.3 - Estrutura de processos

- Ordem de serviço: autorização para a fabricação a partir de uma data estabelecida de uma determinada quantidade de uma opção-produto (tamanho do lote);
- Ordem de manutenção: autorização para manutenção de um equipamento, estabelecendo data de início e previsão de duração;
- Ordem de entrega: autorização para a remoção na data indicada dos itens prontos da ordem de serviço referida.

A MMI possui tela própria para o Gerente cadastrar cada tipo de ordem à produção.

d) Apontamentos

A MMI oferece tela para a entrada dos dados de apontamento da produção. Esses dados referem-se:

- Quantidade de material em processo (inventário) à frente de cada estação de trabalho da FMS;
- Quantidades disponíveis de cada tipo de recurso;
- Ordens de serviço iniciadas.

O apontamento deve ser sincronizado na FMS, para ser obtido o estado completo da produção associado a um determinado instante, que é pré-requisito para gerar a PN marcada. A data e horário do apontamento também são indicados.

Analisando-se os dados para a modelagem da FMS, conclui-se que, a exceção das durações das operações, os mesmos podem ser obtidos facilmente, e constituem-se de dados invariáveis. A duração de cada operação pode ser obtida, nos setores de tempos e métodos, ou de controle de custos - correspondente ao valor de tempo-padrão. No aspecto da confiabilidade desses tempos, destaque-se que, numa primeira etapa de uso da MTQA, mesmo que os tempos iniciais não sejam confiáveis, provavelmente será indicado o gargalo de recurso corretamente, pois, em termos práticos, a taxa de ocupação do recurso crítico apresenta diferenças acentuadas relativamente às demais /9/. A prática do controle da produção permitirá a detecção desses erros e posterior correção dos mesmos.

3.4.2. Sistemática para comandar o processamento de informações

O Gerente requisita serviços do Software da MTQA através das telas de comando. São fornecidos os seguintes comandos:

a) Testa-prazos:

Comando que executa a simulação do modelo de produção configurado pelo Gerente, para confirmar a viabilidade dos prazos de entrega pretendidos pelo setor comercial. Este comando é normalmente utilizado na fase de Planejamento da Produção, quando o Gerente interativamente testa várias hipóteses de carregamento da FMS, para ajustar a carteira de encomendas, viável para a capacidade interna de produção.

Como entrada para o comando, o Gerente informa as encomendas, fornecidas pelo setor comercial, e indica o horizonte de simulação (data do final do período coberto pelo planejamento). A saída do comando é a relação das datas de entrega obtidas na simulação e o gargalo de recurso. O Gerente, consultando o setor comercial, analisará as datas obtidas pelo comando, e irá selecionar as encomendas a serem confirmadas, observando as conveniências mercadológicas da empresa.

b) Carregamento de Ordem de Serviço:

Este comando acrescenta as tarefas de fabricação, das encomendas selecionadas, no Programa de Fabricação. O Gerente indica o gargalo de recurso e/ou de entrega, a reserva de tempo, e a data/hora que cada gargalo iniciará o processamento local, no caso de gargalo de recurso, ou da entrega final, no caso de gargalo de mercado. Ao ser acionado, o comando programa as tarefas que antecedem a chegada ao gargalo, através de retroprogramação. O comando indica, através de tela, a data de lançamento de cada encomenda à produção - informação básica para a emissão das ordens de serviço.

c) Despacho da Programação:

Esse comando informa o Plano Diário de Produção, através de relatório impresso, próprio para manuseio no chão-de-fábrica. Na entrada, o Gerente seleciona a data calendário referente ao relatório a ser gerado.

d) Visualização de atrasos:

Este comando informa ao Gerente o posicionamento da fabricação de uma dada ordem de serviço, em relação ao Programa de Produção estabelecido. Sua utilidade maior é para o controle dos suprimentos aos gargalos, dentro dos procedimentos do Controle da Produção. Na entrada do comando, o Gerente indica a situação real da fabricação da ordem de serviço. A saída do comando é a informação, em tela, da divergência (em minutos) entre a posição real

da produção e a programada.

3.5 ARQUITETURA DO SOFTWARE

O esquema dos módulos do projeto físico do software para a MTQA é apresentado na figura 3.4. A modelagem seguida no projeto do software foi a do método Entidade-Relação, e para a geração do software foi empregada Linguagem Orientada a Objetos (OOP).

3.5.1 Tópicos do projeto do módulo "mapeia FMS"

Para otimização da ocupação de memória é gerada a PN marcada apenas para as ordens de serviço ativas no horizonte de simulação.

O vetor de marcagens é atrelado ao horário do apontamento, estabelecendo a representação inicial sincronizada do estado do chão-de-fábrica para efeito da simulação.

3.5.2. Tópicos do projeto do módulo "jogador de fichas"

O "jogador de fichas" foi concebido para avançar ou recuar no tempo. A primeira hipótese é empregada nos procedimentos de exploração do gargalo, da etapa do Planejamento; a segunda, nos procedimentos de subordinação da programação do gargalo, da mesma etapa.

Este módulo computa, ao longo da simulação do modelo da produção, o montante da ocupação de cada recurso, para apurar o gargalo de recurso do modelo.

3.5.3 Opção por Programação Orientada a Objetos (oop)

Foi escolhida a OOP para o desenvolvimento de todo o Software da MTQA. O método OOP permite a produção de software com requisitos elevados de qualidade /17,18,19,20,21/.

A qualidade de um software desenvolvido por OOP se distingue principalmente nos aspectos /19,20,21/:

- modularidade;
- facilidades para manutenção;
- confiabilidade - conferida pela reusabilidade de módulos (classes) devidamente testados.

Foi selecionada a linguagem de OOP Eiffel /18,19,21/. Essa linguagem apresenta uma biblioteca de classes reutilizáveis, consideradas bastante adequadas para a produção do software da MTQA. Ressalte-se a utilização das seguintes classes da biblioteca do Eiffel:

- lista lincada: lista sequencial de objetos, modificável dinamicamente;
- árvore lincada: implementação de árvore de objetos, através de representação por listas lincadas;
- menu pop-up: implementação de menu pop-up, podendo as entradas serem sub-menus;
- windows: implementação de janelas, em estrutura hierárquica.

CAPÍTULO 4

EXEMPLO E ANÁLISE DE UMA APLICAÇÃO DO SOFTWARE DA MTQA

A MTQA contribui para a Garantia da Qualidade Total na FMS, ao garantir a qualidade do planejamento da produção, através do controle do fator de contribuição dos gargalos e alocação de reservas de tempo, e do controle da produção, onde, pelo monitoramento da ocupação das reservas de tempo, pode-se supervisionar a Qualidade Total de todos os processos da FMS, e obter os fatos e dados para a sistematização da introdução de melhoramentos contínuos.

A ferramenta básica da MTQA é o software, que permite representar o comportamento futuro da produção. Destaque-se que estratégias alternativas de planejamento, como o MRP/MRP II e o Just-In-Time, não dispõem e não prescindem de uma modelagem confiável da programação futura /7,9/. Na presente dissertação, atenção especial se deu ao desenvolvimento do software, pré-requisito essencial da MTQA.

O Software da MTQA foi submetido a testes, para a validação externa da MMI (realização das funções especificadas), e a validação interna e externa do simulador do andamento da produção (realização das funções e das propriedades de desempenho). Para tanto, foi simulado o caso de uma FMS do setor metal-mecânico. Esse caso reflete uma situação usual a nível de FMS's.

Na análise dos resultados do teste, atenção especial se deu à conformidade dos tempos de resposta obtidos nas simulações - propriedade fundamental para o jogador de fichas de Rede de Petri -, e a característica amigável do diálogo com o Gerente - propriedade fundamental da MMI.

Já se apresentam sugestões de uma versão mais expandida do Software da MTQA, incorporando transferência de dados com outros setores da manufatura através de Rede de Computadores, conforme o modelo CIM (Computed Integrated Manufacturing) de automação. A integração da

MTQA ao CIM é discutida no capítulo 5.

O Software da MTQA foi desenvolvido na linguagem Eiffel, orientada a objetos, e foi testado em uma workstation Sun, com sistema operacional Unix. O objetivo, nesta etapa do desenvolvimento da Interface Homem-Máquina, foi constituir um núcleo básico, modular, que incorpora toda a funcionalidade requerida. Essa estrutura modular visa favorecer a evolução contínua do diálogo, através da futura inserção de avanços na área de ergonomia, e de contribuições baseadas na observação da sua aplicação prática.

Os testes abrangeram todas as tarefas da MTQA: Planejamento da Produção, Controle da Produção, Planejamento de Melhorias. São apresentadas as telas com resultados obtidos, para o caso simulado. Se apresentam sugestões de pontos onde o sistema pode ser expandido, particularmente para conferir mais elevado grau de automatização.

4.1 UMA FMS PARA O TESTE DO SOFTWARE DA MTQA

Foi simulada uma aplicação da MTQA em uma indústria metalúrgica, que possui uma FMS para a produção de armados. A figura 4.1 mostra o arranjo das FMC's. Entre os itens fabricados na FMS, estão escorredores de pratos, portas-shampoo, tulhas para armários. A figura 4.2 apresenta o desenho de uma tulha. O esquema do processo de fabricação da tulha é mostrado na figura 4.3.

Para simular um caso realístico, considerou-se um planejamento semanal da produção, abrangendo uma carteira de 5 produtos. Os seguintes dados caracterizam a situação do teste (para simplificar, são apresentadas as características médias dos cinco itens):

- Número médio de operações por item: 7;
- Tempo de set-up (média da FMS): 60s.
- Tamanho médio do lote de produção: 10 peças.

A jornada de trabalho é de 8 horas diárias, em turno único.

FMS DE ARAMADOS

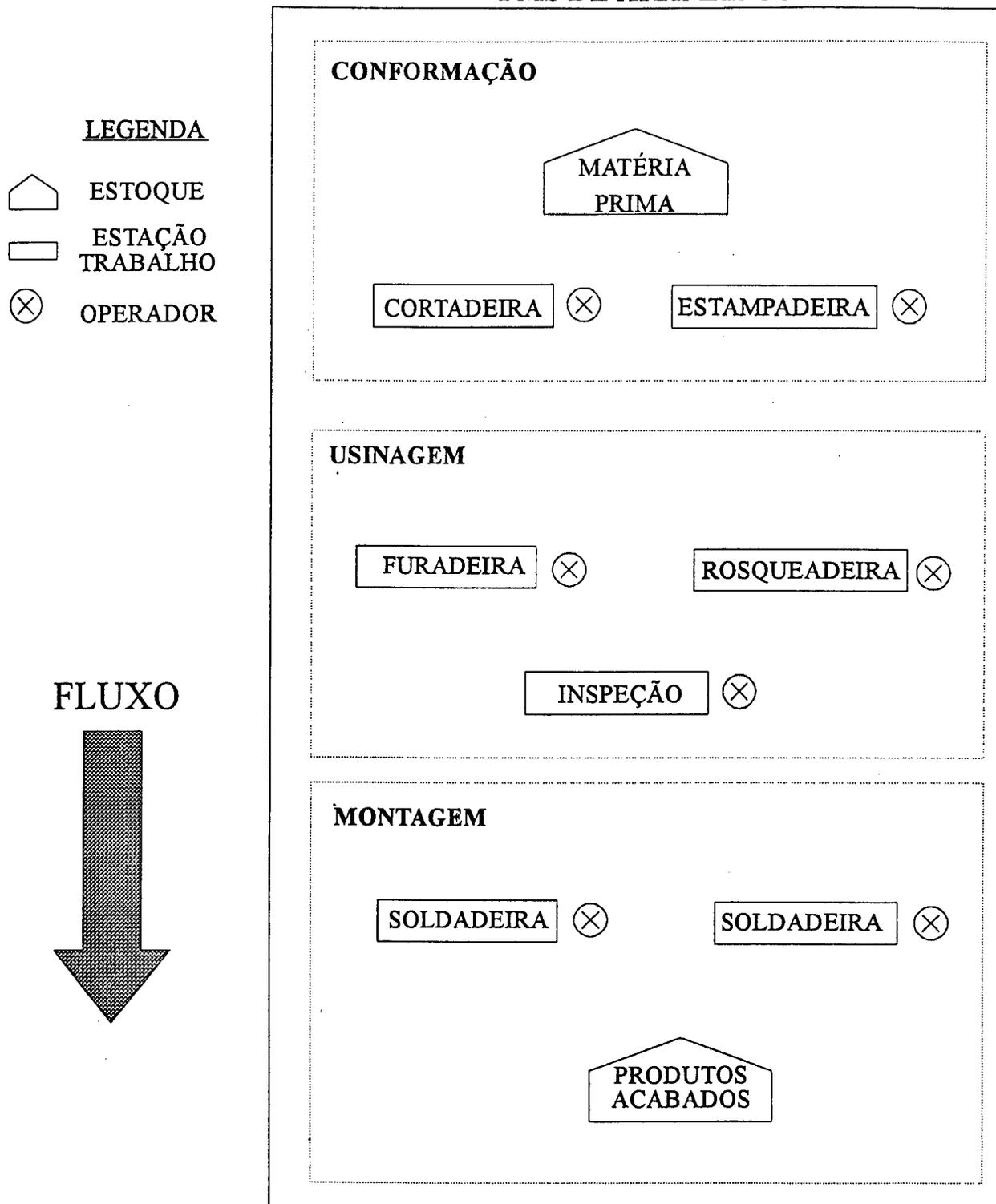


Figura 4.1 - Lay-out de FMS de aramados

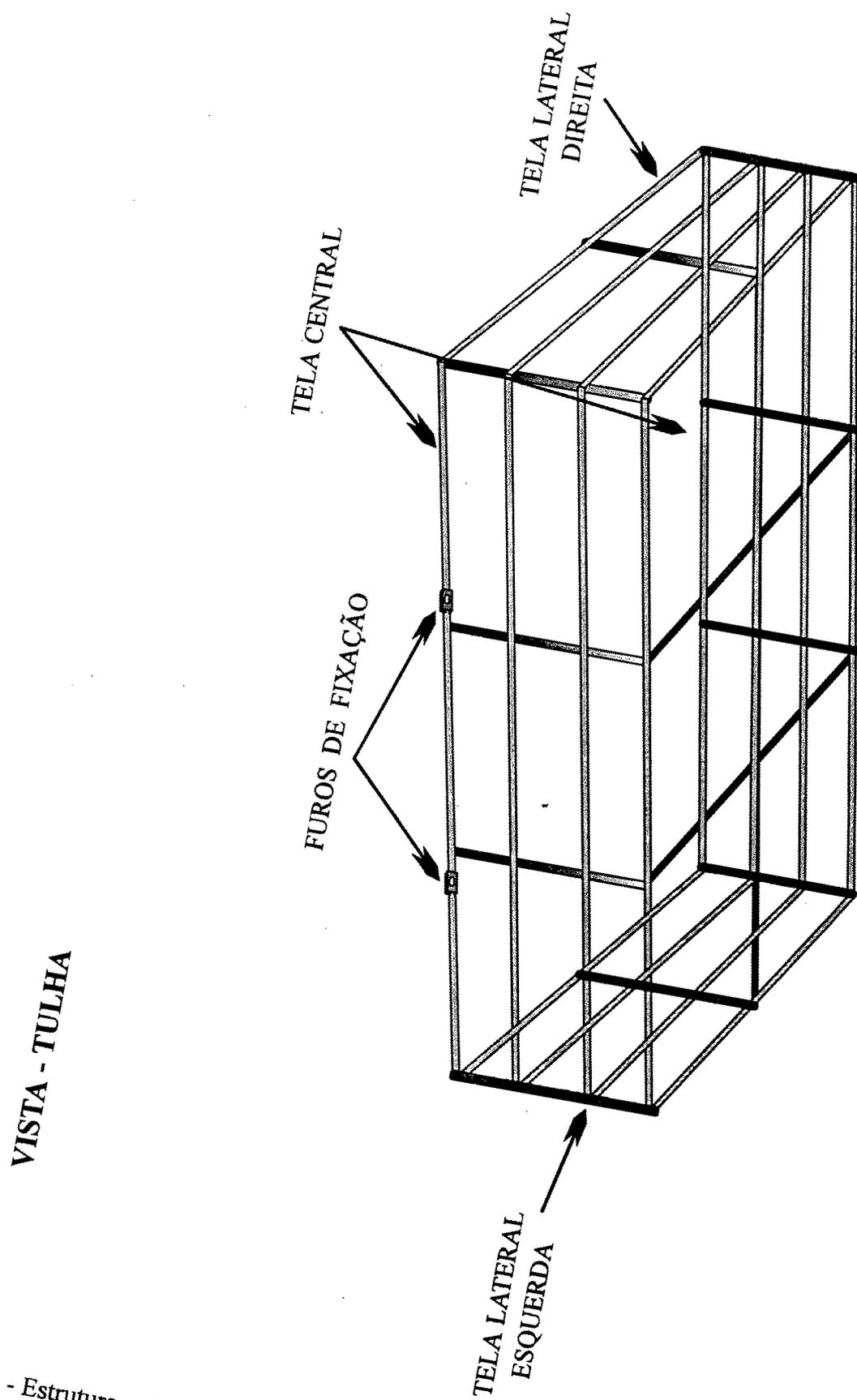


Figura 4.2 - Estrutura soldada de arame constituindo a tulinha

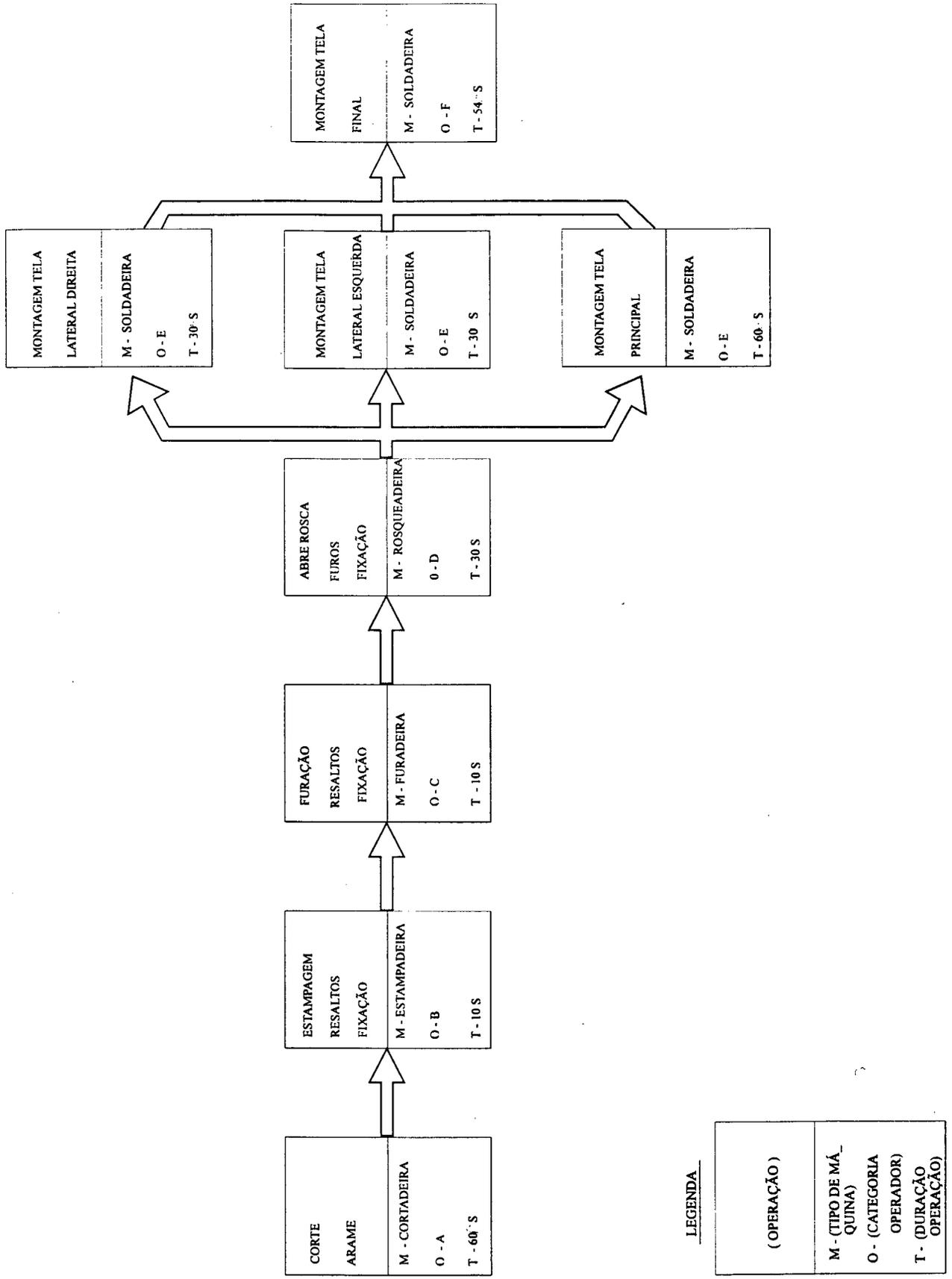


Figura 4.3 - Plano de processamento da tulha

LEGENDA

(OPERAÇÃO)
M - (TIPO DE MÁQUINA)
O - (CATEGORIA OPERADOR)
T - (DURAÇÃO OPERAÇÃO)

4.2 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

Um ciclo de planejamento inclui a entrada de dados para a modelagem do futuro andamento da produção, e a execução dos procedimentos para estabelecer o Programa de Produção. Segue descrição dos resultados do teste em cada etapa do ciclo, e a exemplificação das telas dos comandos.

4.2.1. Avaliação do diálogo na entrada de dados para a MTQA

Para a entrada dos dados iniciais dos planos de processos, planejamento da produção, calendário e apontamentos, considerando-se carregamento inicial da MTQA (condição mais restritiva, pela ausência de dados memorizados), o operador precisou de aproximadamente 1 (uma) hora.

Percebeu-se que o desdobramento da MMI em telas específicas para cada dado, bem como o emprego de terminologia específica de manufaturas, ofereceram importante benefício para agilizar o diálogo. Destaque-se o conforto propiciado pelos menus pop-up.

Para melhorar a ergonomia e a confiabilidade dos dados, sugere-se a introdução de críticas para enganos na entrada de dados.

4.2.2. Teste de Prazos

Foram analisados os aspectos de facilidades para o Gerente e tempo de resposta do comando Testa-Prazos.

a) Facilidade para utilização:

A saída do comando - relação das datas de entrega das encomendas candidatas - propicia uma rápida visualização de eventuais conflitos entre os prazos da produção e as intenções de venda. Esse comando permite que o Gerente possa, em um procedimento interativo, quando houver gargalo de recurso, ajustar a carteira de encomendas viável. Nestes casos, é priorizada a alocação dos produtos com maior margem de contribuição no gargalo.

b) Tempo de resposta:

O tempo de resposta do comando para a carga de uma semana da produção foi de 1 (um) minuto. Esse tempo de resposta foi considerado adequado para viabilizar a tarefa gerencial de Planejamento, onde o Gerente usualmente precisará testar várias hipóteses de carregamento da FMS.

A figura 4.4 apresenta um exemplo de saída do comando Testa-Prazos.

4.2.3. Carregamento de Ordem de Serviço

Foram analisados os aspectos de facilidades para o Gerente e tempo de resposta do comando de Carregamento de Ordem de Serviço.

a) Facilidade para utilização:

A indicação pelo comando da data de lançamento da Ordem de Serviço permite que o Gerente controle o surgimento de restrições adicionais, simplesmente conferindo com a data presente. Este comando considera as reservas de tempo, as quais, eventualmente, podem fazer surgir nova restrição de recurso - levando o Gerente a redimensionar a carteira.

b) Tempo de Resposta:

O tempo de resposta na alocação da ordem de serviço que completou o carregamento da FMS (condição mais severa para o software) foi de 1 (um) minuto. Deve-se levar em conta que o número de ordens de serviço para uma FMS deve atingir quantidade expressiva. O baixo tempo de resposta obtido pelo comando confere agilidade e conforto para o Gerente conduzir a alocação das ordens de serviço.

4.2.4. Despacho da Programação

Foram analisados os aspectos de facilidades para o Gerente e tempo de resposta do comando.

a) Facilidade para utilização:

O comando gera relatório impresso com o Plano Diário de Produção para o dia selecionado pelo Gerente. O Plano diário de Produção é composto de um Plano Diário de Carga específico para cada estação de trabalho. A figura 4.5 apresenta um exemplo de Plano Diário de Carga.

PROGRAMA DE CONCLUSÕES DE ORDENS DE SERVIÇO			
ORDEM SERVIÇO	DESCRIÇÃO	DATA CONCLUSÃO	HORÁRIO CONCL
0001	TULHA A	04/01/94	09:30
0003	GAVETA C	04/01/94	11:00
0002	TULHA B	05/01/94	11:00
0004	CESTO A	05/01/94	15:00
0006	ESCORREDOR	06/01/94	16:30
0009	CONJUNTO PRATELEIRA	06/01/94	10:00
0012	GAVETA A	06/01/94	14:45
0011	PORTA-COPOS	06/01/94	17:30
0014	CESTO A	07/01/94	09:15
0015	GAVETA D	07/01/94	11:45
0017	CADEIRA	07/01/94	14:30
0019	CAMA	07/01/94	17:15
0020	TULHA D	NÃO CONCLUÍDO	--
0022	GAVETA F	NÃO CONCLUÍDO	--

RELATÓRIO DE GARGALOS		
RECURSO	DESCRIÇÃO	OCUPAÇÃO (%)
001	ESTAMPADEIRA	95
005	SOLDADEIRA	87

Figura 4.4 - Saída do Comando Teste de Prazos, para as encomendas da semana de 03/01 a 07/01/94.

MÁQUINA: CORTADEIRA			
DATA: 03/01/94			
ORDEM	DESCRIÇÃO	HORÁRIO	HORÁRIO
SERVIÇO		INICIO	TÉRMINO
0001	TULHA A	08:00	08:45
0002	TULHA B	08:45	11:00
0003	GAVETA C	11:10	14:45
0004	CESTO AA	14:45	16:00
0006	ESCORREDOR	16:10	18:00

Figura 4.5 - Plano Diário de Carga da Estampadeira para o dia 03/01/94

b) Tempo de resposta:

O comando gerou um Plano Diário de Produção em aproximadamente 1 (um) minuto. Deve-se adicionar o tempo de impressão, que é dependente da impressora.

4.2.5. Avaliação do grau de automação das tarefas do Planejamento

O suporte do software foi avaliado quanto ao conforto propiciado pelo grau de automação das tarefas do Planejamento:

a) Entrada de dados:

Para a condição de FMS's convencionais - desprovidas de ligações em redes de computadores para transferência de dados entre setores -, nas as quais a entrada de dados é manual, considera-se que a MMI proposta confere conforto adequado.

Automação adicional deverá ser prevista para FMS de manufaturas que adotam o modelo CIM, conforme abordado no capítulo 5. Nesta hipótese, os dados serão automaticamente transferidos entre os departamentos, "aliviando" carga de serviço do Gerente.

b) Estabelecimento da carteira de encomendas:

Recorde-se que para esta tarefa são deixados à critério exclusivo do Gerente a resolução dos conflitos entre restrições, por se considerar que os fatores intangíveis associados a essas decisões não são automatizáveis. Pesam nestas decisões a experiência, sensibilidade e habilidade comercial do Gerente. Idealmente, nesta fase, deve haver interação a nível pessoal entre a Produção, Garantia da Qualidade, Vendas e Engenharia de Processos.

A automação conferiu agilidade para permitir que o Gerente teste as várias hipóteses de carregamento que se fizerem necessárias.

c) Escalonamento da ocupação do gargalo de recurso:

Na técnica de escalonamento proposta é deixado à critério do Gerente buscar otimizar a ocupação do eventual gargalo de recurso, comandando a alocação de horas-extras e dimensionamento de lotes.

Uma versão mais expandida poderá incorporar alocações automáticas de um volume inicial padronizado de horas-extras, porém se considera que volumes mais expressivos dependerão da avaliação do Gerente.

d) Carregamento de Ordens de Serviço:

O comando programa automaticamente as tarefas de cada Ordem de Serviço selecionada pelo Gerente.

Uma automação adicional poderá ser incorporada em uma versão futura, onde as Ordens são programadas à comando único.

e) Despacho da Produção:

A automação da emissão do Programa de Produção é satisfatória para FMS's convencionais. Para FMS's integradas conforme o modelo CIM (ver capítulo 5) as informações do Programa de Produção devem ser diretamente repassadas ao chão-de-fábrica através de trocas de mensagens em rede local de computadores, em tempo real do processo de fabricação.

4.3 CONTROLE DA PRODUÇÃO

No controle da produção, são confrontados os dados do andamento da fabricação, com as metas planejadas. Destaque-se que o volume de informações, neste procedimento, é bastante reduzido, pois referem-se apenas às tarefas que alimentam os gargalos, diferentemente dos sistemas de informações de apontamento da produção convencionais, que abrangem todas as tarefas da fabricação.

4.3.1. Supervisão manual da Programação

Foram analisados os aspectos de facilidades para o Gerente na Supervisão da Produção através da conferência entre a situação real e a planejada.

a) Facilidade para utilização:

O comando do Despacho da Produção gera relatório impresso com o Plano Diário de Produção para o dia selecionado pelo Gerente, com tempo de resposta de um minuto (na situação do teste).

Para supervisionar manualmente a produção, bastará o Gerente utilizar o Plano Diário de Carga do gargalo de recurso e compará-lo com a situação real.

4.3.2. Supervisão automática da Programação

Foram analisados os aspectos de facilidades para o Gerente e tempo de resposta do comando de Visualização de Atrasos.

a) Facilidade para utilização:

O comando faz a supervisão automática da produção. Ele deve ser acionado conforme a Frequência de Supervisão padronizada. O apontamento dos fornecimentos ao gargalo também deve ser conforme a Frequência de Supervisão.

A figura 4.6 apresenta um exemplo de tela de visualização de atraso.

RESULTADO DE SUPERVISÃO	
DIA APONTAMENTO:	04/01/94
HORÁRIO APONTAMENTO:	09/30
ORDEM SERVIÇO:	0002
OCUPAÇÃO DA RESERVA TEMPO	
TEMPO (HORAS):	5
PROBABILIDADE (%):	60

Figura 4.6 - Visualização de atraso na ordem de Serviço 0002

b) Tempo de resposta:

O comando apresentou um tempo de resposta da ordem de 1 (um) minuto.

4.3.3. Avaliação do grau de automação das tarefas do Controle da Produção

O suporte do software foi avaliado quanto ao conforto propiciado pelo grau de automação das tarefas do Controle da Produção.

a) Supervisão manual da Programação:

A automação associada ao comando Despacho da Produção é considerada satisfatória.

b) Supervisão automática da programação:

Uma facilidade adicional poderá ser a geração automática de estatística de atrasos por recurso, que aliviará a tarefa de elaboração da lista ordenada de recursos problemáticos.

A automação adotada é adequada para FMS's convencionais. Para FMS's integradas conforme o modelo CIM (ver capítulo 5) as trocas de mensagens relativas à apontamentos deverão ser automatizadas.

4.4 PLANEJAMENTO DE MELHORIAS

O Planejamento de Melhorias inclui os procedimentos para a avaliação sistemática do benefício a ser alcançado com uma solução proposta para um problema da FMS.

Foi testada a funcionalidade do software nos procedimentos do Planejamento de Melhorias, com os seguintes resultados:

4.4.1. Determinação do gargalo de recurso

Neste passo do Planejamento de Melhorias, o Gerente utiliza o comando Testa-Prazos, para identificar o gargalo de recurso no(s) exercício(s) subsequente(s). A duração de um exercício do Planejamento de Melhorias, usualmente, é maior do que a do Planejamento da Produção, devendo o Gerente usar dados de previsões de vendas para completar a modelagem do carregamento da FMS.

Através do comando Testa-prazos é simples simular o carregamento futuro e obter o gargalo de recurso associado.

Para a FMS do teste o comando Testa-Prazos apresentou tempo de resposta de 4 (quatro) minutos para um Horizonte para Planejamento de Melhorias de 1 (um) mes.

A figura 4.7 apresenta tela do comando Testa-Prazos para uma programação mensal de produção.

4.4.2. Determinação do retorno de uma melhoria

O Gerente obtém a informação da economia de tempo do gargalo de recurso, associado a uma melhoria, através de nova simulação do comportamento da produção, considerando os efeitos da melhoria (geralmente representados por novos parâmetros nos Planos de Processos).

CRONOGRAMA DE CONCLUSÕES DE ORDENS DE SERVIÇO			
ORDEM SERVIÇO	DESCRIÇÃO	DATA CONCLUSÃO	HORÁRIO CONCL
0001	TULHA A	04/01/94	9:30
0003	GAVETA C	04/01/94	11:00
0002	TULHA B	10/01/94	11:00
0004	CESTO AA	12/01/94	15:00
0006	ESCORREDOR	13/01/94	16:30
0009	CONJUNTO PRATELEIRA	18/01/94	10:00
0012	GAVETA A	19/01/94	14:45
0011	PORTA-COPOS	21/04/94	17:30
0014	CESTO A	24/01/94	09:15
0015	GAVETA D	25/01/94	11:45
0017	CADEIRA	26/01/94	14:30
0019	CAMA	28/01/94	17:15
0020	TULHA D	NÃO CONCLUÍDO	--
0022	GAVETA F	NÃO CONCLUÍDO	--

RELATÓRIO DE GARGALOS		
RECURSO	DESCRIÇÃO	OCUPAÇÃO (%)
0002	CORTADEIRA	98

Figura 4.7 - Saida do comando Testa-Prazos para uma programação mensal

É previsível que o Gerente faça simulações para mais de um exercício mensal subsequente, visando pesquisar as recorrências do gargalo de recurso.

Nestas simulações o Gerente utiliza o comando Testa-Prazos. Como anteriormente colocado, esse comando oferece uma solução simples para essas simulações.

4.4.3. Avaliação do grau de automação das tarefas do Planejamento de Melhorias

A automação oferecida pelo comando Testa-Prazos é satisfatória para a determinação dos gargalos futuros e da economia de tempo da restrição propiciada por uma melhoria.

Na determinação do Benefício de uma Melhoria destaca-se:

- As avaliações do custo de uma melhoria, e do adicional de valor agregado, pela ocupação do tempo economizado da restrição, são realizadas pelo Gerente manualmente;
- O Gerente obtém de forma simplificada o retorno da melhoria, através da divisão entre o valor agregado adicional e o custo de uma melhoria;
- A pesquisa do gargalo para vários exercícios subsequentes aumenta a confiabilidade do cálculo do retorno.

4.4.4. Exemplificação da determinação do retorno de uma melhoria

Para ilustrar os procedimentos de determinação do retorno de uma melhoria, é apresentada a seguinte análise de caso, para a FMS do exemplo:

- Gargalo de recurso no Horizonte para o Planejamento de Melhorias: estamperia (ver figura 4.7);
- Horizonte para o Planejamento de Melhorias: 1 (um) mes;
- Melhoria: dispositivo que reduz de 5% os tempos de processo na estamperia;
- Custo da melhoria: 5.000 US \$;
- Tempo para a implantação da melhoria: 2 semanas;
- Item de fabricação excluído da programação devido à restrição de capacidade interna: Tulha;

- Tempo de processamento da tulha: 10s (ver figura 4.3);
- Ganho da Tulha: 0.75 US \$/peça;
- Tempo calculado para a economia ao gargalo no mes com a melhoria: 4 horas;
- Número de Tulhas a serem produzidas no tempo economizado: 1440;
- Retorno calculado da melhoria, no mes: 1080 US \$;
- Taxa do retorno calculado no Horizonte para o Planejamento de Melhorias: 21.6%;

Supondo-se ser a diretriz da empresa a implementação de melhorias com taxa de retorno superior a 20%, a mesma seria implementada imediatamente.

Observe-se que uma análise conclusiva sobre a viabilidade de uma melhoria pode ser empreendida pesquisando-se a recorrência da estamperia como gargalo nos horizontes subsequentes.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO DA MTQA AO AMBIENTE CIM

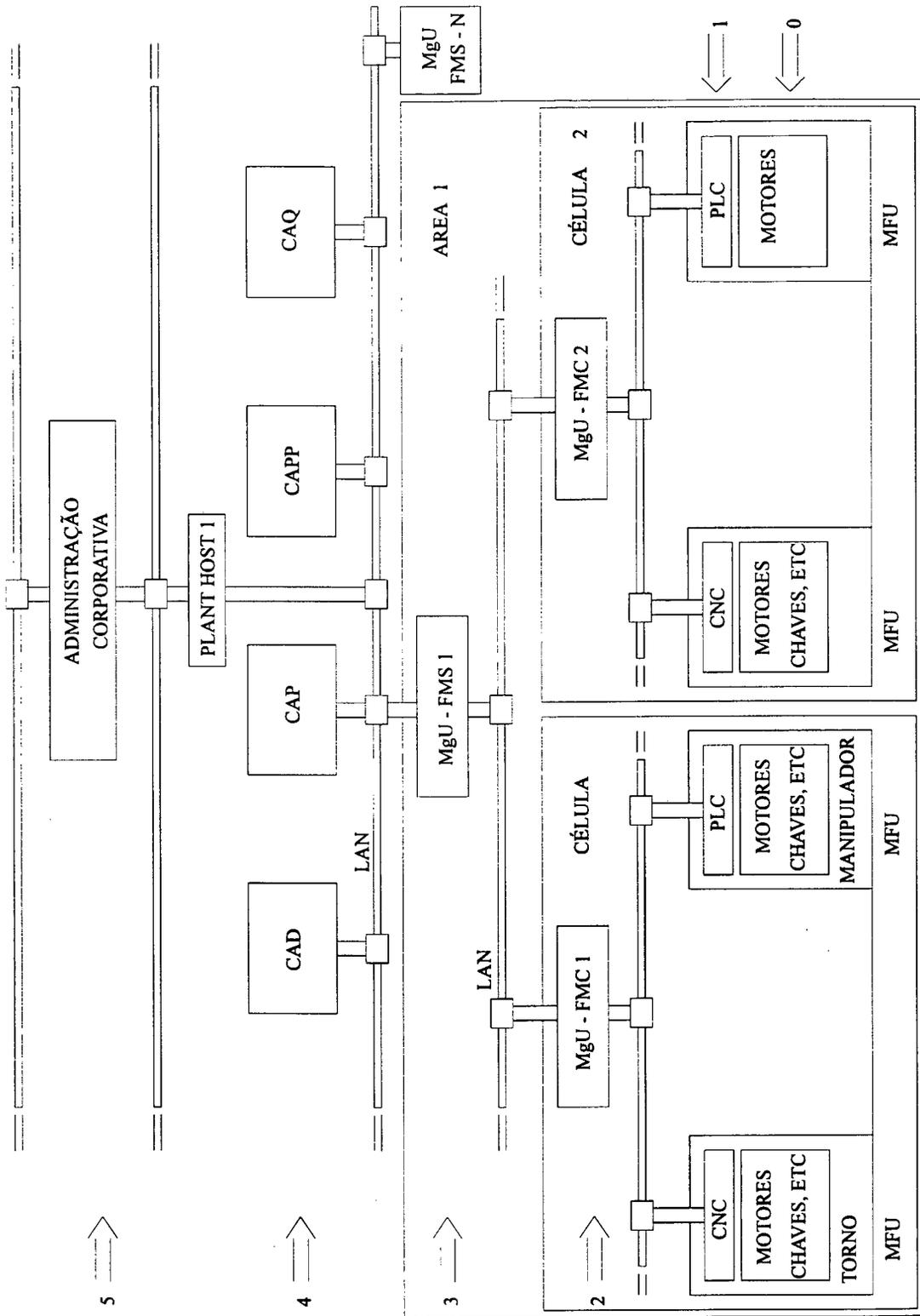
A tecnologia CIM implementa a integração das tecnologias computacionais de apoio à manufatura (as conhecidas CAx) dentro de uma filosofia unificada que objetiva a otimização do negócio como um todo /4,5,6/. A figura 5.1 mostra os níveis hierárquicos do CIM. Observe-se as ligações de dados entre os diversos setores. A integração é mais lógica do que física, se viabilizando através dos recursos de informação /4,5,6/.

Destaque-se o posicionamento do software de gerenciamento de FMS - no nível 3, Unidade de Gerenciamento (MgU). Na MgU são reunidos os aplicativos associados ao gerenciamento das operações de fabricação - a serem pela MTQA - e os de controle dos recursos computacionais.

A figura 5.2 apresenta a estrutura funcional com os níveis hierárquicos. Destaque-se a integração do nível de área (onde está a MgU) com os níveis de célula e de planejamento da planta.

A despeito de alguns setores do CIM buscarem um nível de automatização que propicie funcionamento desassistido por operador, destaque-se que, para as funções onde a MTQA se aplica, é básica a participação do Gerente (humanware). Destaque-se a participação do Gerente no controle da margem de contribuição dos gargalos, na alocação das reservas de tempo, comandando o controle da produção, e, fundamentalmente, realizando o aporte de conhecimento /2/ - essencial para a realização dos melhoramentos contínuos, que garantirão a Qualidade Total na FMS.

COMUNICAÇÃO COM MUNDO EXTERNO



5 →

4 →

3 →

2 →

1 →

0 →

SIMBOLOGIA

→ NÍVEL

Figura 5.1 - Níveis hierárquicos do CIM /3/

NÍVEIS		MISSÃO	ESCOPO	TEMPOS TÍPICOS
<p>NÍVEIS HIERÁRQUICOS</p> <p>5</p> <p>ADMINISTRAÇÃO CORPORATIVA</p> <p>4</p> <p>PLANEJAMENTO DA PLANTA</p> <p>3</p> <p>ÁREA (FMS)</p> <p>2</p> <p>CÉLULA</p> <p>1</p> <p>UNIDADES DE PRODUÇÃO</p> <p>0</p> <p>DISPOSITIVO</p>		GESTÃO DA COMPANHIA	OPERAÇÃO DA COMPANHIA	ANOS E MESES
		GERENCIAMENTO DA FÁBRICA, USINA, ETC.	OPERAÇÃO DA FÁBRICA, USINAS, ETC.	MESES E SEMANAS
		GERENCIAMENTO DO PROCESSO	OPERAÇÃO DAS ÁREAS	SEMANAS E DIAS
		SUPERVISÃO DO PROCESSO	OPERAÇÃO DAS UNIDADES	HORAS E MINUTOS
		CONTROLE DE PROCESSO OU DE MÁQUINA	OPERAÇÃO DO PROCESSO	MINUTOS E SEGUNDOS
	CONTROLE DE DISPOSITIVOS	OPERAÇÃO DE ATUADORES	MINUTOS E SEGUNDOS	

Figura 5.2 - Estrutura funcional associada aos níveis hierárquicos de um sistema CIM / 3 /

5.1 REQUISITOS PARA SOLUÇÕES CIM

Para a viabilização de uma solução CIM devem ser alcançados atributos para a integração lógica do software. Entre esses atributos, destacam-se as características para o processamento distribuído, e padronização do software. Destaque-se que a integração buscada pela tecnologia CIM favorece a Engenharia Concorrente.

5.1.1. Processamento distribuído

Em uma solução CIM são integradas diversas unidades computacionais /4,5,6/:

- microcomputadores e workstations dos setores de CAD, CAP, CAQ, CAE, CAPP , das MgU's e de DNC;
- Comandos Numéricos Computadorizados (CNC) das máquinas-ferramentas;
- Controladores Lógico-Programáveis (PLC) dos manipuladores e das Células de Fabricação;
- Main Frame da administração corporativa;
- Sistemas de comando de robos industriais (RC);
- Sensores e atuadores inteligentes.

A solução CIM deve dispor de software de suporte, que gerencia a comunicação entre as diversas unidades computacionais, interligadas fisicamente por Rede Local (LAN), e implementa o processamento distribuído. Os softwares aplicativos devem ser integrados logicamente, alcançando independência em relação ao equipamento onde o software fisicamente se encontra /21/.

5.1.2. Padronização do Software

Deve ser estabelecida uma especificação aplicável aos diversos softwares do CIM - básico, suporte e aplicativos - estabelecendo atributos que favoreçam a integração e a intercambialidade. Nessa linha, podemos destacar:

- Software básico:

A seleção de sistema operacional, compiladores, protocolos de comunicação deve privilegiar

soluções padrão na indústria - mais confiáveis na intercambialidade e menos sujeitas a obsolescência;

- Software de suporte:

Na seleção dos gerenciadores de bancos de dados, de comunicações e de processamento distribuído devem ser priorizados sistemas que viabilizem a integração lógica dos aplicativos do CIM;

- Software aplicativo:

A forma dos dados e a terminologia devem ser padronizadas no contexto da indústria, para facilitar o seu uso pelos aplicativos de todas as áreas.

É aconselhável o desenvolvimento, dos aplicativos, por Programação Orientada a Objetos, devido aos benefícios de modularidade, reutilização do software, e facilidade de sua manutenção.

5.2 INTEGRAÇÃO DO SOFTWARE DA MTQA COM AS DEMAIS ÁREAS DA INDÚSTRIA, DENTRO DO MODELO CIM

Para uma adequação ao modelo CIM, uma versão futura da MTQA deverá possuir as seguintes funções adicionais:

a) Comunicação com os níveis 1 e 2 do CIM

A MTQA deverá trocar mensagens com os níveis 1 e 2, para receber os apontamentos do chão-de-fábrica da FMS, e transmitir os comandos para a ativação, em tempo real, das tarefas planejadas para os sistemas de manipulação e transporte, e controlando o down-load de programas CNC para as máquinas-ferramentas.

b) Comunicação com o nível 4 do CIM

A MTQA deverá trocar mensagens com os sistemas do CAPP, CAQ, CAP para receber os dados de Planos de Processo, calendário, escalas de serviço e de manutenções - que permitirão modelizar o comportamento da produção - e para receber os planos de processo, que retransmitirá sincronizadamente para os níveis 1 e 2 (procedimentos de down-load).

c) Manutenção de uma base de dados

A MTQA deverá manter uma base de dados, para registrar os estados do chão-de-fábrica,

obtidos nos apontamentos, viabilizando a geração de estatísticas e eventuais análises de dados históricos de produção, e registrar resultados de testes do controle da qualidade de conformidade, tais como o Controle Estatístico do Processo (CEP). Essa base de dados será acessada pelo nível 4, para estudos e análises de Engenharia.

5.3 ESPECIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO CIM DA UFSC/CERTI

Os laboratórios LCMI, GRUCON, LABSOLDA e GRANTE da UFSC e a Fundação CERTI desenvolvem conjuntamente uma solução CIM que fará parte do futuro laboratório de CIM (LABCIM).

Essa solução dispõe inicialmente da Célula Flexível de Usinagem cuja arquitetura é apresentada na figura 5.3. A célula contém os seguintes equipamentos de chão-de-fábrica:

- Torno CNC;
- Micrômetro à Laser;
- Robo Universal.

Os seguintes sistemas estão sendo desenvolvidos para aplicação na solução CIM:

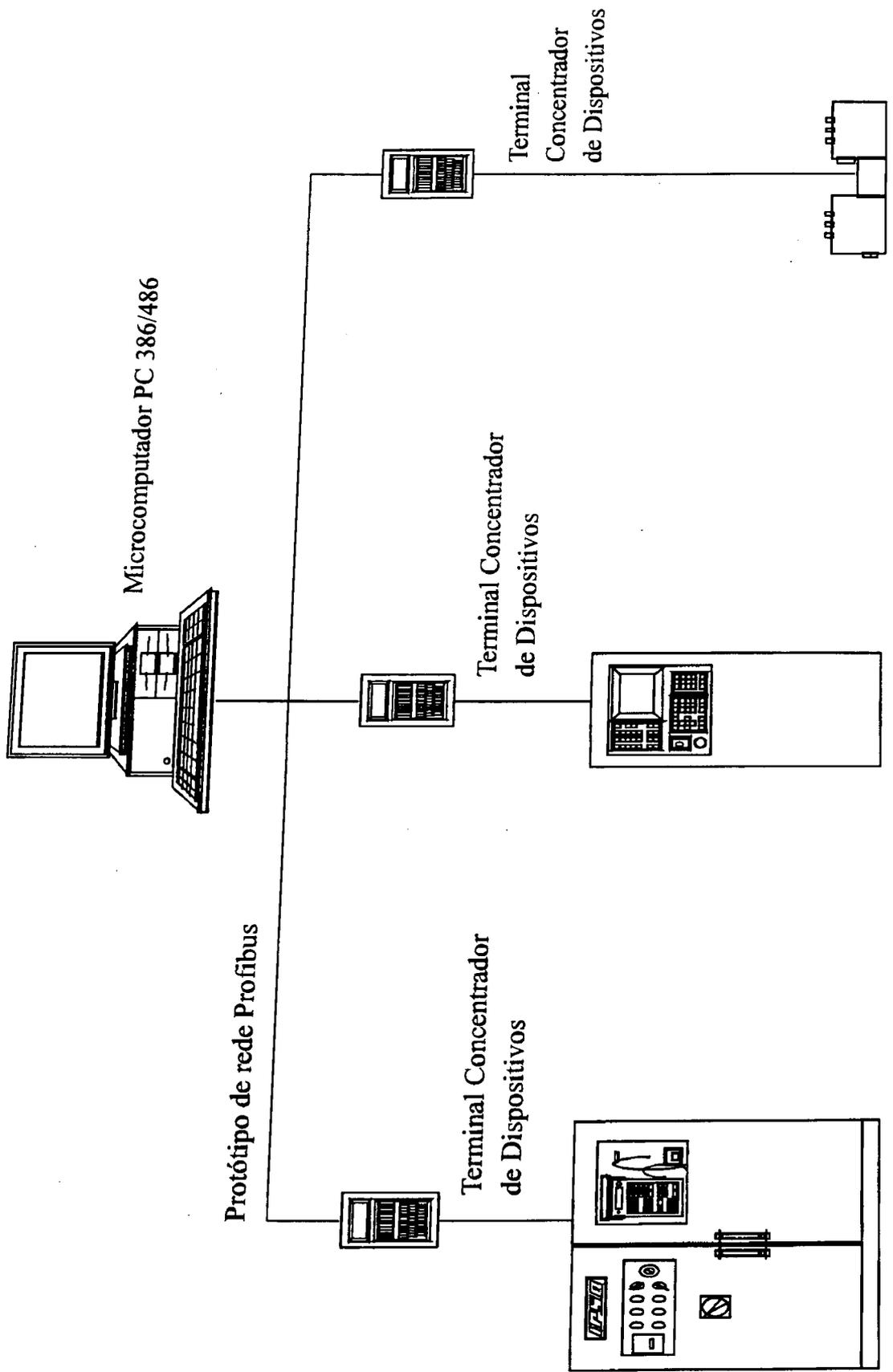
- MTQA (presente dissertação);
- CAPP generativo integrado com sistema CAD.

Para completar uma solução CIM, outras células serão integradas, numa primeira etapa onde será formada uma FMS. Para tanto será empregado a MTQA, realizando as funções de Planejamento, Controle da Produção e Planejamento de Melhorias nesta FMS - fazendo a ligação com o moderno sistema de gestão de empresas, segundo o modelo do TQC /2/.

Nesta solução CIM, a comunicação no chão-de-fábrica será realizada, empregado-se uma rede Field-Bus, baseada na norma alemã PROFIBUS (DIN 19245, partes I e II), em desenvolvimento conjunto pela UFSC/CERTI.

Para dar suporte a integração lógica e ao processamento distribuído, está previsto o emprego do

ARQUITETURA DA CÉLULA



Robô

Torno CNC

Micrômetro LASER

Figura 5.3 - Arquitetura da célula flexível do LABCIM da UFSC/CERTI /22/.

sistema CIM-BIOSYS /21/.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

As empresas manufatureiras se deparam com o desafio de melhorar a produtividade, para enfrentar a concorrência pelo mercado mundial, que se apresenta constantemente mais exigente quanto a qualidade, diversidade, e custos dos seus produtos. Para aliar flexibilidade com produtividade, tem-se hoje os Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS), gerenciados a partir de computadores. Se apresentam grandes perspectivas para uma expansão rápida do emprego desses sistemas na manufatura, desde que compatíveis com as novas tecnologias de gestão e trabalho.

A presente dissertação aborda a problemática de gerenciamento de FMS's. Foram estudadas as tecnologias associadas ao tema, e desenvolveu-se a técnica gerencial denominada MTQA, que sistematiza procedimentos para o planejamento e controle da produção, e coordenação da introdução de melhoramentos contínuos. Desenvolveu-se software para automatização dos procedimentos da MTQA.

A MTQA destina-se fundamentalmente a garantir o incremento da produtividade e dos fatores da Qualidade Total - qualidade de conformidade, baixo custo, confiabilidade na entrega de produtos -, através do controle em tempo real do resultado econômico da produção, integrado com o controle da introdução de melhoramentos contínuos.

O planejamento da produção é baseado em simulações do andamento da fabricação no curto-prazo (um dia a um mes). Nelas, são identificadas as restrições (gargalos) que limitam, no período, a expansão do resultado monetário líquido da produção. Gargalos podem ser recurso produtivo, demanda, prazos de entrega e recebimento. Interativamente, programa-se a produção da restrição de recurso, orientando-se pela margem de contribuição dos produtos (relação entre o resultado monetário líquido do produto com o tempo que demanda da restrição). As tarefas que precedem as restrições são programadas para entregas sincronizadas (just-in-time) no ponto de utilização pela restrição, com antecipação intencional da reserva de tempo - especificada para proteger a produção da restrição -, gerando apenas o nível de inventário indispensável para garantir a estabilidade do programa.

Controla-se a produção, pelo monitoramento da ocupação das reservas de tempo. Atrasos são compensados por medidas de apressamento da produção. Neste passo são identificados os problemas da FMS, e sua importância relativa.

Por fim, sistematiza-se o planejamento de melhoramentos, calculando-se o retorno associado a cada solução proposta. Para isso, simula-se o andamento da produção no longo prazo, identificando-se a(s) restrição(ões) de recurso efetivamente presentes. O retorno de uma melhoria em uma restrição é diretamente a relação entre a variação a ser produzida no valor agregado, e o custo da melhoria.

Destacam-se as seguintes contribuições à problemática do gerenciamento de FMS:

- O software implementa a modelagem da produção da FMS, permitindo representar os paralelismos e concorrências pela ocupação dos recursos produtivos. Essa facilidade, permitiu a obtenção de informações confiáveis dos tempos de processamento de cada Ordem de Serviço, dos detalhes da cronologia da realização das tarefas de fabricação (Programa de Produção), e o gargalo de recurso. Em função da rapidez de respostas, na geração dos Programas de Produção, podem ser adotados planejamentos semanais e até diários para uma FMS, o que representa importante contribuição para a flexibilidade;
- O controle da ocupação das reservas de tempo, e o controle do fator de contribuição dos gargalos, são implementados utilizando um sistema de informações gerenciais simples, pois fundamentam-se em ações sobre uma quantidade pequena de causas (gargalos), fortemente ligadas a lucratividade da FMS. Utilizando-se conjuntamente esses dois controles, coordena-se, sistematicamente, a introdução de melhoramentos contínuos na FMS, pois, se identificam os problemas, através do controle da ocupação dos gargalos, e se calcula o retorno futuro associado a cada solução proposta, com base no benefício ao fator de contribuição do gargalo.

Desenvolveu-se um software inovador, que gera o Programa de Produção utilizando modelagem do comportamento do chão-de-fábrica através de Rede de Petri Temporizada, com Interface-Homem-Máquina que viabiliza o diálogo através de terminologia própria da indústria. Efetuou-se a simulação de um caso prático, obtendo-se tempos de resposta na geração do programa semanal de produção de uma FMS da ordem de 1 (um) minuto. Essa ordem de valor de tempo de resposta prove a facilidade essencial para que a Gerência possa, interativamente, testar as opções mais viáveis de produção.

O Software da MTQA poderá ser expandido nos seguintes pontos:

- Integração do software com os setores de planejamento de processos, de qualidade, de fabricação, de produção, auxiliados por computador, e com os controladores das máquinas-ferramentas - conforme o modelo CIM;
- Melhora da ergonomia na Interface Homem-Máquina, incluindo a introdução de críticas na entrada manual de dados, para uma maior confiabilidade das informações introduzidas.

A MTQA será expandida para aplicação em uma solução CIM de desenvolvimento conjunto pela Universidade Federal de Santa Catarina e Fundação CERTI.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- / 1/ Goldratt, E. A Corrida pela Vantagem Competitiva.
 IMAN,1989.
- / 2/ Campos, V.F. TQC - Controle da Qualidade Total (no estilo japones).
 Fundação Christiano Ottoni,1992.
- / 3/ Alvares, A. J. Tecnologias associadas ao CIM - parte I.
 Lafretta, F. H. Apostila Certi,1991.
 Almeida, M. C.
 Volkmer, R.
 Bernard, G. S.
- / 4/ Lepkson, H.A Padronização e Interação das Unidades de Fabricação,Inspeção e
 Manipulação de uma Célula Flexível de Manufatura.
 Dissertação de Mestrado,UFSC/EMC/LMA, 1990.
- / 5/ Browne, M. Understanding CIM and making it work.
 Buzacott, J. A. Production Engineers,p 20-2,dec/1985.
- / 6/ Bernold, T. Computer Integrated Manufacturing: Communication/ Standartization/
 Guttropf, W. Interfaces. North-Holland,1988.
- / 7/ Spearman, M. CONWIP: a Pull alternative to Kanban.
 Woodruf, D. Intern Journal of Prod Reserch,vol
 Hoop, W. 28,nº3,pp 879-894,1990.

- / 8/ Chadhury, A. Towards an Adaptative Kanban System.
Whinston, A. Intern Journal of Prod Reserch,vol28,nº3,pp 437-458,1990.
- / 9/ Goldratt, E. A Síndrome do Palheiro: Garimpando Informações em um Oceano de
Dados. IMAM,1992.
- /10/ Goldratt, E. Computerized Shop Floor Scheduling. Intern Journal of Prod Reserch,
vol 26, nº3, pp 443-445, 1988.
- /11/ Warnecke, H. Flexible Manufacturind Systems.
IFS,1985.
- /12/ Burbidge, J. Planejamento e Controle da Produção.
Gryna, F. Atlas,1988.
- /13/ Valette, R. A Rede de Petri: uma Ferramenta para a Automação Fabril.
Silva, M. Anais do 4º CONAI, pp 181-200,jul/1990.
- /14/ Juran, J. Controle da Qualidade Handbook.
Gryna, F. M. vols 2,5 ,Mc Graw-Hill,1992.
- /15/ Peterson, J. Petri Net Theory and the Modelling of Systems.
Prentice-Hall,1981.
- /16/ Álvares, A. Sistema de Controle e Sequenciamento da Produção em Tempo Real,
Bernard, G. S. num Ambiente FMS/FMC.
Volkmer, R. 1º Sem Planej Contr Prod - SOBRACON, oct/1990.
- /17/ Meyer, B. Reusability: the Case for Object-Oriented Design.
IEEE Softw,vol 4,nº2, pp 50-64,mar/1987.
- /18/ Meyer, B. Eiffel: A Language and Environment for Software Engineering.
The Journ Syst Softw, 1988.

- /19/ Fairley, R. Software Engineering Concepts.
Mc Graw-Hill, 1985.
- /20/ Pressman, R. Software Engineering: a Practitioner's Approach.
Mc Graw-Hill, 1982.
- /21/ Meyer, B. Object-Oriented Software Construction.
Prentice-Hall.
- /22/ Gilders, P. Guide to Writing CIM-BIOSYS System Applications.
Apostila Loughborough Univ Techn, 1991.