

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**“Uma Arquitetura Modular para Controle de FMS”**

Ricardo Wagner Campos Martins

São Carlos  
Agosto/ 2005

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

M386am

Martins, Ricardo Wagner Campos.

Uma arquitetura modular para controle de FMS / Ricardo  
Wagner Campos Martins. -- São Carlos : UFSCar, 2006.  
81 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São  
Carlos, 2005.

1. Sistemas especialistas (Computação). 2. Sistemas  
flexíveis de fabricação. 3. Arquitetura de controle. I. Título.

CDD: 006.33 (20<sup>a</sup>)


**Universidade Federal de São Carlos**  
**Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação**

***“Uma Arquitetura Modular para Controle de FMS”***

**RICARDO WAGNER CAMPOS MARTINS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

**Membros da Banca:**



---

Prof. Dr. Orídes Morandin Junior  
(Orientador – DC/UFSCar)



---

Profa. Dra. Heloisa de Arruda Camargo  
(DC/UFSCar)



---

Prof. Dr. Mário Luiz Tronco  
(UNESP/São José do Rio Preto)

**São Carlos**  
**Agosto/2005**

## ***Dedicatória***

As minhas netas.

### ***Agradecimentos***

A DEUS, e as entidades que não me deixaram um só segundo desamparado.

Aos meus pais Hugo e Paulina porque sem eles nada disto seria possível.

A minha família pelo apoio, carinho e compreensão.

A minha esposa Tania, pelo seu amor, carinho, correções e paciência.

Ao Orides por acreditar e apoio dado.

Aos amigos das turmas de 2002 e 2003 pela acolhida, força e paciência.

A Laines pela compreensão e incentivo.

Aos professores do DC pelos ensinamentos.

A toda a secretaria do PPGCC, pelo carinho no atendimento.

Aos funcionários de apoio do DC pela torcida e incentivo.

### **RESUMO**

MARTINS, R.W.C., **Uma arquitetura modular para controle de FMS**, 2005. 91 p.  
Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Departamento de  
Computação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Para uma empresa responder mais rapidamente ao mercado, é importante ter flexibilidade e poder mudar sua linha de produção facilmente, para atender à fabricação de produtos personalizados, alterar a matéria-prima ou, até mesmo, a concepção do produto como em um sistema automático de manufatura. Gerenciamento de processos, automação industrial e TI (Tecnologia da Informação) são essenciais para garantir não somente competitividade das empresas, mas sua sobrevivência dentro deste cenário.

Dentre os sistemas automáticos de manufatura que têm sido abordados, o de maior interesse para o escopo deste trabalho é o sistema flexível de manufatura (FMS), por sua abrangência e complexidade e, conseqüentemente, seu controle. Há uma variedade de arquiteturas de controle, como a centralizada, a hierárquica, a heterárquica, a híbrida e, finalmente a multi – agente, com vantagens e desvantagens em relação à facilidade de modelagem, implementação e desempenho.

Como proposta deste trabalho é estudada uma das alternativas de arquitetura, utilizando um sistema de controle híbrido, pelo fato do mesmo permitir a comunicação entre níveis, tanto lateralmente, como com os módulos envolvidos no processo de fabricação e controle de chão de fábrica. Será possível com isto, determinar quais são as instâncias ou momentos de tomada de decisão, descrevendo as funções utilizadas, bem como as informações tratadas.

Para viabilizar a modelagem utilizam-se módulos: gerenciador, seletivo e controlador de movimentação facilitando a construção de um algoritmo estruturado objetivando o detalhamento do mapeamento do processo de comunicação das ações desencadeadas no chão de fábrica.

Palavras chave: arquitetura de controle, sistemas flexíveis de manufatura.

**ABSTRACT**

MARTINS, R.W.C., **A modular architecture for control of FMS**, 2005. 91 p.  
Master's degree Dissertation – Federal University of São Carlos -  
Computer Department, São Carlos.

In order to attend the market quickly, a company need to have flexibility and to change its production line, to assist to the production of personalized products, to change the raw material or, even, the conception of the product like in an automatic system of manufacture. Administration of processes, industrial automation and IT (Information Technology) are essential to guarantee not only the companies, competitiveness but their survival inside of this scenery.

The larger interest among the automatic systems of manufacture in this work is the flexible manufacture system (FMS), for its inclusion and complexity and, consequently, its control and the variety of architectures, as the centralized, the hierarchical, the heterarchical, the hybrid and, finally the multi - agent, therefore the main focus of this work will be the control system of a FMS.

So one of the architecture alternatives, is the proposal using a system of hybrid control, because it allows the communication among levels, by sidelong, and the modules involved in the production process and factory ground control, so it will be possible, to determine which are the instances or moments so of decision, describing the used functions, as well as the treated information.

To make possible the modeling modules are used: manager, selective and movement controller facilitating the construction of a structured algorithm aiming at the detail of the process mapping of communication about the actions unchained in the factory ground.

**Key Words:** control architecture, flexible manufacturing systems.

## LISTA DE SIGLAS

---

AGV - Veículo auto-guiado ( *automated guided vehicle, automatic guided vehicle*).

AGVS – Sistema de veículo auto-guiado.

AMS - Sistema automatizado de manufatura (*automated manufacturing system*).

AS/AR – Armazenamento automático e sistema de recuperação (*automatic storage and retrieval system*).

*Buffer* – local de armazenamento.

CAD – Projeto auxiliado por computador (*computer aided design*).

CAE – Engenharia auxiliada por computador (*computer aided engineering*).

CAM – Manufatura auxiliada por computador (*computer aided manufacturing*).

CAPP – Planejamento de processo auxiliado por computador (*computer aided process planning*).

CIM – Manufatura integrada por computador (*computer integrated manufacturing*).

CNC – Comando numérico computadorizado.

EC – controlador de equipamento (*equipment controller*).

FMC – Célula flexível de manufatura (*flexible manufacturing cell*).

FMS – Sistema flexível de manufatura (*flexible manufacturing system*).

Framework – Arcabouço, estrutura.

IMS - Sistema inteligente de manufatura (*intelligent manufacturing system*).

Intertravamento – No texto, se refere ao conjunto de ações e seus pré-requisitos que descrevem e controlam o funcionamento de partes de máquinas CNC.

JIT *Just in time* – Se refere a uma estratégia de produção.

Lead time – Tempo necessário para à produção após entrada de pedido.



## **LISTA DE SIGLAS**

---

MRP – Planejamento de requisitos de material (*material requirements planning*).

MRP II – Planejamento de recursos de gerenciamento (*management resources planning*).

Setup - No texto, se refere à preparação e ajuste de máquinas ferramenta para execução de uma determinada tarefa.

Scheduling – programação da produção envolvendo tempo.

SFC – controlador de chão de fábrica (*shop floor controller*).

TQC – filosofia desenvolvida para diminuir erros e desperdícios constantemente (*total quality control*).

WC – controlador de estação de trabalho (*workstation controller*).

**FIGURAS**

Figura 2.1 Relação de dependência entre as estratégias (adaptado SLACK, N., et. al., 1997).	10
Figura 2.2.1 Modelo em Y do sistema CIM (TUBINO, D.F., 2000).	14
Figura 2.2.2 Classificação de sistemas de manufatura (adaptado de MORANDIN JUNIOR, O, 1999).	16
Figura 2.3.1 Máquina-ferramenta de controle numérico computadorizado (CNC)(FERREIRA, 1998).	17
Figura 2.3.2 Centro de Usinagem, Fabricante Cincinatti (BENINCASA, A.X, 2003) ..	18
Figura 2.3.3 Célula flexível de manufatura (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).	18
Figura 2.3.4 Linha de Transferência Flexível (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).	19
Figura 3.1.1 – Robôs programáveis (BENINCASA, A.X.,2003)	26
Figura 3.1.2 – AGV, Fabricante Amerden Inc. (BENINCASA, A.X.,2003)	27
Figura 3.1.3 Transportador por Correia (BENINCASA, A.X.,2003)	29
Figura 3.1.4 Desvio em Transportador por Roletes (BENINCASA, A.X.,2003)	29
Figura 3.1.5 – Sistema AS/RS (BENINCASA, A.X.,2003)	30
Figura 4.2.1 - Sistema de controle centralizado (adaptado de CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOOK, S. H. 2000).	34
Figura 4.2.2 - Sistema de controle hierárquico (adaptado de CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOOK, S. H. 2000).	36
Figura 4.2.3 - Sistema de controle heterárquico (adaptado de CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOOK, S. H. 2000).	37
Figura 4.2.4 - Sistema de controle híbrido (adaptado de CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOOK, S. H. 2000).	38
Figura 4.3.2 –Arquitetura de um sistema multi-agente para escolha de um AGV, (adaptado AOKI, A.R.,et al,2001).	43
Figura 4.3.3 –Sistema holônico de manufatura (adaptado de RAMOS, C.,1996).	45
Figura 5.2 - Arquitetura proposta com o mapeamento em módulos.	61
Figura 6.1 – Plano de operação	66
Figura 6.2 – Figura totalmente esmaecida com módulos e fluxo de informações a serem trocadas.	66
Figura 6.3 – Solicitação de usinagem ao gerenciador de recursos.	67
Figura 6.4 – Solicitação de máquina pelo gerenciador de recursos	67
Figura 6.5 – Seleção de máquina pelo selecionador	68
Figura 6.6 – Seleção de AGV e roteiro recebem informação	69
Figura 6.7 – Bloco escolhe o AGV e passa novas informações.	69
Figura 6.8 – Bloco escolhe o roteiro de movimentação e passa novas informações	70
Figura 6.9 – Bloco controle de movimentação dá início a produção.	71

**TABELAS**

Tabela 4.1 Resumo das características, vantagens e desvantagens dos sistemas de controle, adaptação (BONGAERTS, L., et. al., 2000; FLETCHER, M.; BRENNAN, R.W.; NORRIE, D.H., 2003)..... 46

---

## SUMÁRIO

<i>INTRODUÇÃO</i> .....	1
1. <i>INTRODUÇÃO</i> .....	2
<i>VISÃO GERAL E ESTRATÉGICA DA MANUFATURA</i> .....	7
2. <i>VISÃO GERAL E ESTRATÉGICA DA MANUFATURA</i> .....	8
2.1 Planejamento estratégico.....	9
2.2 Conceitos estratégicos de produção.....	11
2.3 Sistemas automatizados de manufatura.....	17
2.3.1 Máquinas CNC padrão.....	17
2.3.2 Centros automatizados, com CNC.....	17
2.3.3 Células flexíveis de manufatura.....	18
2.3.4 Linha de transferência flexível (LFT).....	19
<i>SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (FMS)</i> .....	20
3. <i>SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (FMS)</i> .....	21
3.1 Componentes.....	24
3.1.1 Estações de Processamento.....	24
3.1.2 Sistema de movimentação e armazenamento de materiais.....	26
3.1.3 Sistema de controle do FMS.....	30
<i>CONTROLES UTILIZADOS EM SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA</i> .....	31
4. <i>CONTROLES UTILIZADOS EM SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA</i> .....	32
4.1 Definições de elementos de controle.....	32
4.1.1 O controlador inteligente.....	32
4.1.2 O controlador de chão de fábrica (SFC).....	33
4.1.3 O controlador de estação de trabalho (WC).....	33
4.1.4 O controlador de equipamento (EC).....	33
4.2 Arquiteturas.....	33
4.2.1 Arquitetura centralizada.....	34
4.2.2 Arquitetura hierárquica.....	34
4.2.3 Arquitetura heterárquica.....	36
4.2.4 Arquitetura híbrida.....	37
4.3 Sistemas.....	38
4.3.1 Sistema Multi-agente.....	38
4.3.2 Sistema holônico de manufatura (HMS).....	43
4.4 Resumo das arquiteturas apresentadas.....	46
4.5 Pesquisas atuais no contexto restrito do trabalho.....	46
<i>O MODELO PROPOSTO</i> .....	58
5. <i>O MODELO PROPOSTO</i> .....	59
5.1 Introdução ao modelo proposto.....	59
5.2 O modelo proposto.....	60
5.3 Caracterização dos módulos utilizados.....	61
5.3.1 Gerenciador de recursos.....	61
5.3.2 Módulo seletivo.....	61
5.3.3 Controle de movimentação.....	62
5.3.4 Informações trocadas.....	63
<i>AVALIAÇÃO DA PROPOSTA</i> .....	65
6. <i>AVALIAÇÃO DA PROPOSTA</i> .....	66
6.1 Exemplo prático.....	66
6.2 Conclusão acerca da avaliação.....	71
<i>CONCLUSÃO E POSSÍVEIS DESDOBRAMENTOS</i> .....	72
7. <i>CONCLUSÕES E POSSÍVEIS DESDOBRAMENTOS</i> .....	73
7.1 Análise de desempenho.....	73
7.2 Possíveis desdobramentos.....	74
<i>FONTES BIBLIOGRÁFICAS</i> .....	75



# CAPÍTULO 1

## ***INTRODUÇÃO***

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema de produção em uma organização transforma insumos (matérias prima, pessoal, máquinas, prédios, tecnologia, dinheiro, informação, e outros recursos) em saída (produtos e serviços) de forma a atender as exigências do mercado e garantir lucros para a empresa (GAITHER, N; FRAZIER, G., 2001).

Nos últimos anos grandes alterações nos sistemas de manufatura foram observadas, a fim de obter produtividade sem a produção em grandes lotes e baixa diversificação de produtos.

Atualmente, processos de produção refinados juntamente com sofisticadas tecnologias para transformar matéria-prima em produtos utilizáveis permitem atender à demanda por maior variedade de produtos bem como a produção em pequenos lotes.

A fim de satisfazer as necessidades humanas, como vestir, locomover, alimentar, etc., bens são produzidos, processos de manufatura são desenvolvidos com intuito de agregar valores aos materiais, transformando matéria-prima em produtos, da forma mais eficiente possível.

Atualmente a humanidade é bastante heterogênea em relação às atividades de consumo. Existem pessoas diferentes com gostos e estilos também diferentes. Além disso, há uma crescente e dinâmica demanda de produtos na sociedade. Devido a esses fatores e também à alta competitividade do mercado, sistemas de produção têm sido desenvolvidos para corresponder a essa tendência de mercado.

Uma inovação tecnológica significativa, merecedora de destaque é o uso e implementação de automação em sistemas de produção dando origem, de uma forma geral, aos sistemas automáticos de manufatura.

Especificamente no “chão de fábrica” vários modelos de sistema têm sido implementados, e podem ser classificados considerando-se diferentes aspectos, porém, de uma maneira geral, podem ser nomeados como sistemas automatizados de manufatura.

Nesse sentido, um sistema automatizado de manufatura é caracterizado como sendo um sistema controlado por computador e que pode fabricar, transportar e armazenar simultaneamente uma variedade de peças e produtos.

A implementação de elementos automatizados para esses fins tem resultado em sistemas mais complexos e que geram conseqüentemente modelos também mais complexos.

Existem vários modelos de sistemas automatizados sendo utilizados atualmente, os quais serão classificados e caracterizados mais detalhadamente no capítulo dois.

Segundo BLACK (1998), sistema é a palavra usada para definir ou ilustrar, de maneira abstrata, uma montagem (ou arranjo físico) complexa que possui elementos físicos caracterizados por parâmetros mensuráveis. O sistema de manufatura segue essa filosofia. Dentre os elementos físicos importantes na manufatura destacam-se pessoas, processos e equipamentos, estoque e manuseio de materiais. Entre os parâmetros mensuráveis destacam-se: a taxa de produção, estoque em processo, custo total ou unitário, entre outros.

Diante do anteriormente exposto, existem estratégias indicadas para o atendimento dos modernos sistemas de manufatura e dentre elas está o planejamento estratégico.

Antes, é necessário considerar o que é entendido por estratégia. Pode-se defini-la como sendo um compromisso com ação, portanto, é o padrão global de decisões e ações que posicionam a organização em seu ambiente, tendo como meta fazê-la atingir seus objetivos de longo prazo (SLACK, N. et. al., 1997).

O planejamento estratégico busca maximizar os resultados das operações e minimizar os riscos nas tomadas de decisões das empresas. O impacto de suas decisões é de longo prazo e afetam a natureza e as características das empresas no sentido de garantir o atendimento de sua missão. Conforme TUBINO (2000) para efetuar um planejamento estratégico, a empresa deve entender os limites de suas forças e habilidades no relacionamento com o meio ambiente, de maneira a criar vantagens competitivas em relação à concorrência, aproveitando-se de todas as situações que lhe trouxerem ganhos. Em outras palavras, planejar estrategicamente consiste em gerar condições para que as empresas possam decidir rapidamente perante oportunidades e ameaças, otimizando suas vantagens competitivas em relação ao ambiente onde atuam, garantindo sua perpetuação no tempo.



Isso posto, a escolha de um modelo de sistema automatizado, deve contemplar o plano estratégico da empresa, e uma dessas possíveis escolhas é o FMS.

O FMS abrange uma grande quantidade de componentes que trabalham de forma conjunta, dependendo diretamente um do outro para chegar a um determinado fim esperado (MORANDIN JUNIOR, O., 1999).

Para um bom desempenho total do sistema, existe a necessidade de que todos os componentes envolvidos trabalhem de forma coerente, prestando assim, suas atividades específicas de tal forma que não cause nenhum tipo de problema no sistema como um todo.

A flexibilidade, portanto, deve inclusive assegurar ao sistema, a capacidade de responder rapidamente frente ao acontecimento de um fato indesejável e previsível, ou ainda de formular uma estratégia ofensiva ou defensiva diante de uma mudança inesperada (GUPTA, Y.P.; GOYAL, S., 1989).

Durante o processo de pesquisa que precedeu a elaboração deste trabalho foi observado que trabalhos desenvolvidos no LIAA (laboratório de inteligência artificial e automação) envolvendo controle de FMS como, o sistema automatizado de manufatura usando rede Petri (MORANDIN, 1999), o projeto de intertravamento de (KATO, 2001) e o sistema fuzzy para despacho de AGV (BENINCASA, 2003), trataram pontos específicos de FMS, sem a coordenação das atividades do sistema de FMS como um todo. Um dos propósitos deste é contemplar os pontos relevantes dos trabalhos acima referenciados, engajando-os como um todo do sistema FMS. A proposta, em alguns casos leva em conta até a estratégia da manufatura.

Essa proposta apresenta um arcabouço (*framework*) para uma arquitetura híbrida de controle.

Tendo em vista as vantagens abordadas no capítulo quatro, poderão ser embarcadas nesse arcabouço (estrutura em forma de *framework*) ou em parte dele, arquiteturas multi-agente e/ou holônica.

Com o intuito de facilitar a compreensão e sua implementação, ele será decomposto em módulos e principalmente a comunicação entre esses módulos, como também o sistema de controle como um todo, e será estudado e apresentado como

escopo desse trabalho. Isso facilitará a montagem de novas arquiteturas utilizando os módulos com diferentes sistemas tecnológicos embarcados.

O sistema proposto será composto dos seguintes módulos:

Módulo gerenciador de recursos, com a função de receber a ordem de produção e solicitar ao módulo seguinte sua execução.

Módulo seletivo, composto por três outros módulos, a saber, selecionadores de máquina, AGV e de roteiro, que são responsáveis como o próprio nome diz pelas escolhas necessárias no “chão de fábrica” para executar o trabalho da produção.

Por último o módulo controle de movimentação com a finalidade reservar máquinas, AGV, roteiros já escolhidos pelos referidos blocos. Ou seja, o controle de movimento dos demais blocos.

A fim de contextualizar melhor o problema, as técnicas e a contribuição desse trabalho, esta dissertação está estruturada em capítulos como descrito a seguir.

No segundo capítulo é apresentada uma visão estratégica de manufatura, partindo de um contexto mais amplo e, para isso, são introduzidos conceitos de sistemas de produção e tecnologias de manufatura identificando o ponto em que um FMS se insere e, por fazer parte do escopo deste trabalho, o mesmo será tratado em detalhes num capítulo em separado e, como o uso de sistemas holônicos de manufatura tem se tornado mais freqüente, o estudo da visão macro do sistema, é aconselhada.

O terceiro capítulo abordará um sistema especial, pois dentre os sistemas automáticos, tratados, o de maior interesse para o escopo deste trabalho é o sistema flexível de manufatura (FMS), por sua abrangência e complexidade, portanto, nesse capítulo será dada ênfase especial a esse sistema automático de manufatura.

No quarto capítulo será estudado o controle desse sistema automático de manufatura, abordando as várias arquiteturas, bem como, tipos, vantagens e desvantagens, para, em seguida, apresentar em breves resumos o que pesquisadores fizeram e/ou estão fazendo em termos de aplicações e/ou implementações.

No quinto capítulo será descrita a proposta de um arcabouço (*framework*) utilizando arquitetura híbrida num sistema de controle para FMS, além da comunicação entre os módulos e a interação dos mesmos no conjunto.

No sexto capítulo é implementada e validada a proposta, pelo ensaio simulando a entrada de uma ordem de serviço real e percorrendo todos os caminhos percorridos na fabricação de uma peça.

No sétimo capítulo será finalizado o trabalho, concluindo que essa arquitetura pode ser considerada uma especificação básica para construção de um *framework* de controle de FMS.

## CAPÍTULO 2

# ***VISÃO GERAL E ESTRATÉGICA DA MANUFATURA***

## 2. VISÃO GERAL E ESTRATÉGICA DA MANUFATURA

Nesse capítulo é apresentada uma visão geral sobre aspectos de manufatura, partindo de um contexto mais amplo e, para isso, são introduzidos conceitos de sistemas de produção e tecnologias de manufatura identificando o ponto em que um FMS se insere, e por fazer parte do escopo deste trabalho, o mesmo será tratado em detalhes num capítulo em separado.

Mudanças têm ocorrido de uma forma profunda em projetos e execução de sistemas de manufatura. Segundo BLACK (1998), tais mudanças têm forte motivação nas seguintes tendências:

- aumento do número e da variedade de produtos continuará resultando numa queda do tamanho de lote de fabricação;
- exatidão e precisão dimensionais dos produtos, com o intuito de melhor qualidade continuará a existir;
- variedade de materiais leva a um aumento de processos de fabricação;
- tempo entre projeto e fabricação do novo produto tende a reduzir-se;
- produtos globais irão abastecer mercados globais.

Os novos sistemas de manufatura devem dar as seguintes respostas para as tendências abordadas acima:

- produtos melhores levam à reestruturação e melhoria dos sistemas de manufatura;
- os sistemas de manufatura devem entregar produtos com melhor qualidade, custo unitário menor e dentro do prazo pré-estabelecido pelos seus clientes;
- o sistema deve ser projetado de maneira compreensível, flexível e confiável.

Segundo BLACK (1998), sistema é a palavra usada para definir ou ilustrar, de maneira abstrata, uma montagem (ou arranjo físico) complexa que possui elementos físicos caracterizados por parâmetros mensuráveis. O sistema de manufatura segue esta

filosofia. Dentre os elementos físicos importantes na manufatura destacam-se: pessoas, processos e equipamentos, estoque e manuseio de materiais. Entre os parâmetros mensuráveis destacam-se: a taxa de produção, estoque em processo, custo total ou unitário, entre outros.

Diante do acima exposto, existem ferramentas indicadas para que possamos atender os modernos sistemas de manufatura e dentre elas está o planejamento estratégico.

Antes, é necessário considerar o que é entendido por estratégia. Pode-se defini-la como sendo um compromisso com ação, portanto é o padrão global de decisões e ações que posicionam a organização em seu ambiente, tendo como meta fazê-la atingir seus objetivos de longo prazo (SLACK, N. et. al., 1997).

## 2.1 Planejamento estratégico

O planejamento estratégico busca maximizar os resultados das operações e minimizar os riscos nas tomadas de decisões das empresas. O impacto de suas decisões é de longo prazo e afetam a natureza e as características das empresas no sentido de garantir o atendimento de sua missão.

Conforme TUBINO (2000) para efetuar um planejamento estratégico, a empresa deve entender os limites de suas forças e habilidades no relacionamento com o meio ambiente, de maneira a criar vantagens competitivas em relação à concorrência, aproveitando-se de todas as situações que lhe trouxerem ganhos. Em outras palavras, planejar estrategicamente consiste em gerar condições para que as empresas possam decidir rapidamente, perante oportunidades e ameaças, otimizando suas vantagens competitivas em relação ao ambiente em que atuam, garantindo sua perpetuação no tempo.

Com base na definição da *missão corporativa*, existem três níveis hierárquicos dentro de uma empresa onde se encontram estratégias de planejamento: o nível corporativo, o nível da unidade de negócios e o nível funcional (SLACK, N. et al., 1997).

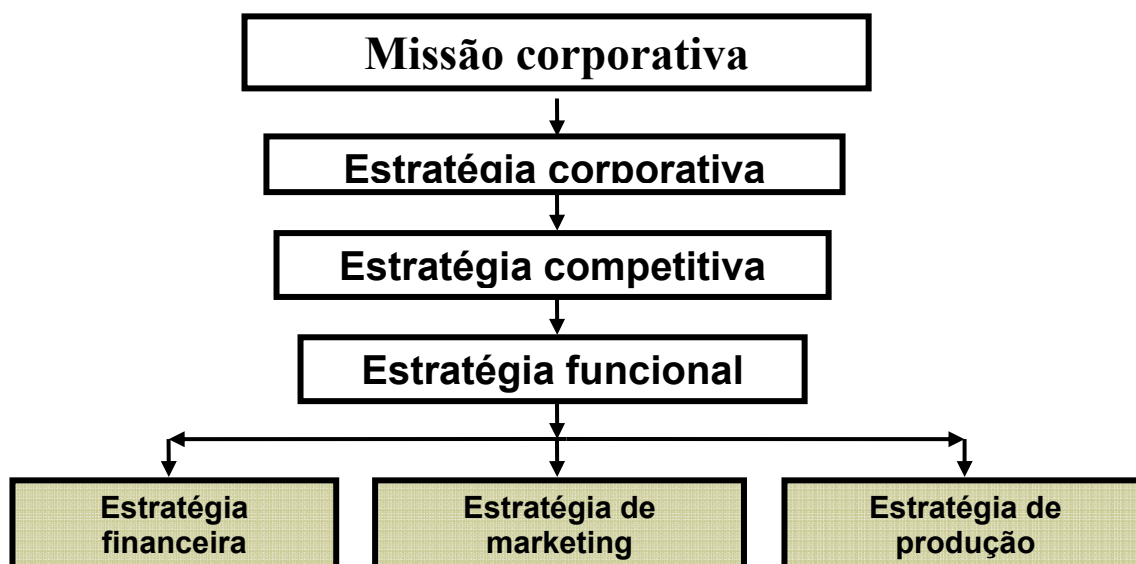
O nível corporativo define *estratégias globais*, a estratégia corporativa, apontando as áreas de negócios das quais a empresa irá participar e a organização e

distribuição dos recursos para cada uma dessas áreas ao longo do tempo, com decisões que não podem ser descentralizadas (SLACK, N. et al.,1997).

O nível da *unidade de negócios* é uma subdivisão do nível corporativo, no caso de a empresa atuar com unidades de negócios semi-autônomas. Cada unidade de negócios teria uma estratégia, também chamada de estratégia competitiva, definindo como essa unidade compete no mercado (TUBINO, D.F., 2000).

O terceiro nível é o da *estratégia funcional*. Nesse nível estão associadas às políticas de operação das diversas áreas funcionais da empresa, consolidando as estratégias corporativa e competitiva (TUBINO, D.F., 2000).

Como resultados da definição de uma estratégia funcional, são gerados os planos de ação dentro das três áreas básicas da empresa: o *Plano Financeiro*, o *Plano de Marketing* e o *Plano de Produção*. Esses planos serão detalhados e desmembrados em nível tático, para fornecer os métodos e a direção que os vários setores da empresa necessitarão para pôr em prática tal estratégia, essa relação de dependência pode ser visualizada na figura 2.1 (SLACK, N., et. al., 1997).



**Figura 2.1** Relação de dependência entre as estratégias (adaptado SLACK, N., et. al., 1997).

“A missão corporativa é a base de uma empresa, a razão de sua existência, raramente nasce com a empresa, deve ser amadurecida com o crescimento da organização e desenvolvida pela alta administração, tem que ser entendida por todos,

inspirar e desafiar a organização para atingi-la, além disso, deve ter alcance social” (TUBINO, D.F.,2000).

Como a missão corporativa é uma meta a ser alcançada, ela deve ser operacionalizada por meio da definição e implementação das estratégias corporativa, competitiva e funcional, até chegar às três que são: financeira, marketing e produção, esta última será analisada mais amplamente, pois está mais voltada para o escopo desse trabalho.

## 2.2 Conceitos estratégicos de produção

Dois principais conceitos surgiram como proposta de estratégia de produção, com o intuito de contemplar, em última análise, a missão corporativa (moderna). A filosofia *Just in Time/Total Quality Control*, (JIT/TQC), oriunda das empresas japonesas e a integração das atividades do sistema produtivo, através da informatização, pelo *Computer Integrated Manufacturing*, (CIM).

Serão apresentados a seguir, de forma resumida, esses dois conceitos.

O JIT é uma filosofia voltada para a otimização da produção, enquanto o TQC é uma filosofia voltada para a identificação, análise e solução de problemas (considerando que qualquer problema é perda de qualidade) (TUBINO, D.F., 2000).

Não parece, porém, conveniente separar as questões de forma tão imediata, pois o JIT e o TQC possuem uma interface comum muito grande e, sua aplicação conjunta tem se mostrado, ao longo dos anos, ser a melhor alternativa (TUBINO, D.F., 2000).

Serão descritos a seguir, os principais conceitos estratégicos das filosofias JIT/TQC.

Satisfazer as necessidades dos clientes, significa entender e responder aos seus anseios, fornecendo produtos de qualidade no momento em que for solicitado. Segundo TUBINO(2000) existem várias maneiras de melhorar o relacionamento com os clientes, podendo ser citadas:

- redução dos custos internos dos clientes;
- produção de pequenos lotes com qualidade;



- flexibilidade;
- redução dos estoques do cliente;
- projetos em conjunto com o cliente.

Eliminar desperdícios significa analisar todas as atividades realizadas no sistema de produção e eliminar aquelas que não agregam valor ao produto. Uma classificação de desperdícios bastante usada é a proposta por SHINGO (1996) apud TUBINO (2000), que identifica sete categorias:

- desperdício de superprodução;
- desperdício de espera;
- desperdício de movimentação e transporte;
- desperdício da função processamento;
- desperdício de estoques;
- desperdícios de movimentos improdutivos;
- desperdícios de produtos defeituosos.

Melhorar continuamente significa, segundo o método Kaizen, que nenhum dia deve passar-se sem que a empresa melhore sua posição competitiva. É importante, sob a ótica do melhoramento contínuo, estabelecer metas bastante otimistas, mesmo que inatingíveis, como forma de direcionar o incremento de produtividade (TUBINO, D.F., 2000).

As metas da filosofia. JIT/TQC são:

- defeito zero;
- estoque zero;
- movimentação zero;
- *lead time* zero;

- tempo de configuração zero;
- lotes unitários .

O envolvimento em praticamente todos os aspectos relacionados à filosofia JIT/TQC requer a participação de todas as pessoas ligadas à organização.

A organização e a visibilidade do ambiente de trabalho são um requisito fundamental da filosofia JIT/TQC.

Os princípios expostos que, em seu conjunto, dão forma à filosofia JIT/TQC, não são fáceis de ser implementados. Além do mais, a própria questão da busca pelo melhoramento contínuo, diferenciará as empresas que chegarem a soluções mais satisfatórias para seus problemas.

Como uma das formas para atender a filosofia JIT/TQC e, conseqüentemente, a estratégia de produção e a missão corporativa adotada, será abordada a seguir o sistema CIM.

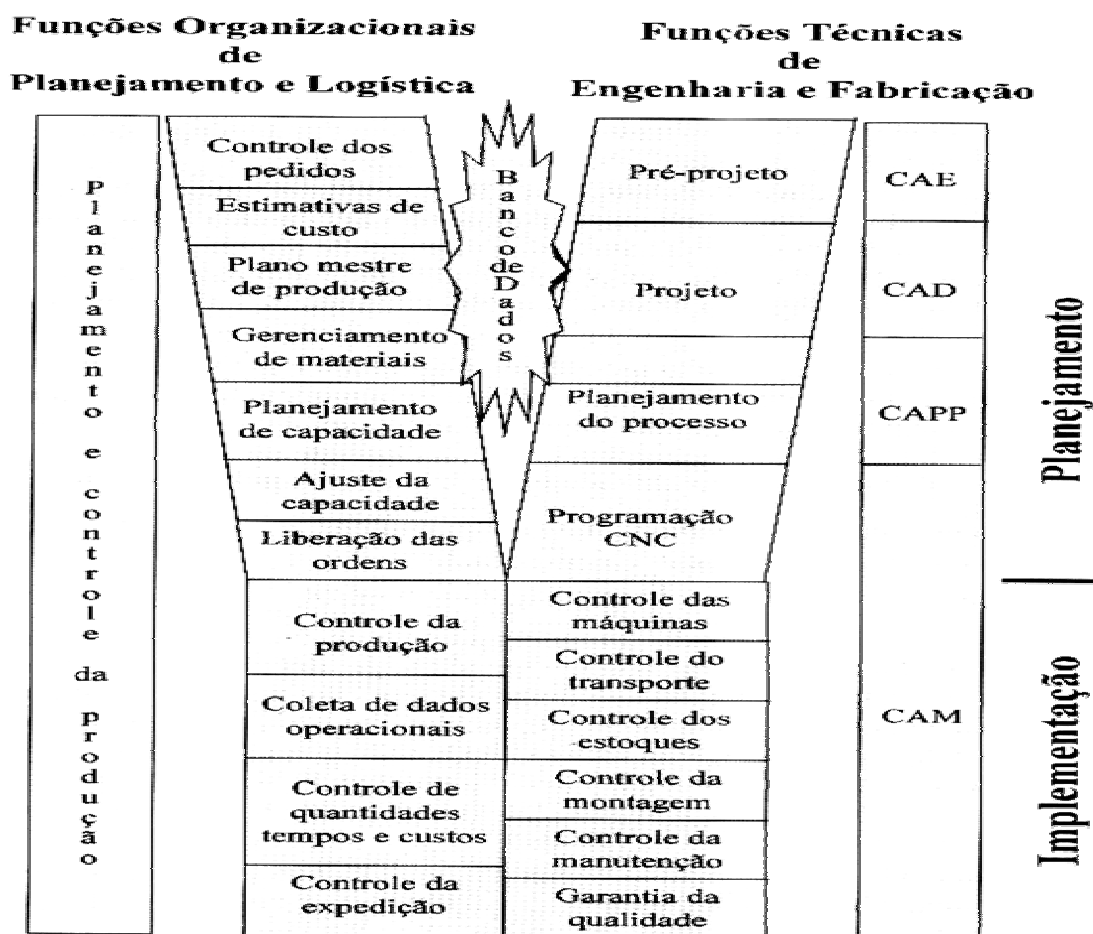
O sistema CIM visa integrar o planejamento e o controle das atividades de um sistema de produção, suportado por uma rede de sistemas computacionais, formadas, basicamente, por computadores, softwares, banco de dados e controladores programáveis (TUBINO, D.F., 2000).

Um modelo genérico do Sistema CIM, conhecido como modelo em “Y”, com todas as suas atividades interligadas, pode ser visto na Figura 2.2.1 No lado esquerdo do modelo, estão encadeadas as atividades de planejamento e controle da produção, enquanto que no lado direito, estão as atividades técnicas de engenharia e produção. Na parte superior do modelo, há o nível de planejamento, enquanto que na parte inferior, aparecem atividades de implementação dos programas de produção. No meio do “Y”, um banco de dados alimenta o fluxo de informações do sistema com listas de materiais, fluxogramas de produção, dados sobre os equipamentos, níveis de estoques etc.

O sistema CIM, conforme apresentado na Figura 2.2.1, envolve o uso de uma série de tecnologias que produzem ferramentas de auxílio às atividades de planejamento e implementação do sistema de produção. No lado esquerdo do modelo, atividades de planejamento e controle da produção. No lado direito do modelo, que compreende as

ferramentas técnicas de auxílio ao planejamento e implementação da produção, é definido a seguir (TUBINO, D.F., 2000).

CAE — Engenharia Auxiliada por Computador: como o próprio nome indica, consiste em empregar um sistema computacional para desenvolver e avaliar as especificações funcionais de produtos, peças componentes e processos de fabricação.



**Figura 2.2.1 Modelo em Y do sistema CIM (TUBINO, D.F., 2000).**

CAD — Projeto Auxiliado por Computador: é um sistema computacional empregado para a elaboração de desenhos, lista de materiais e outros conjuntos de instruções para as atividades de produção, como uma base de dados gráfica de peças, desenhos, simulação gráfica interativa, armazenamento e acesso a documentos, edição de documentos técnicos etc.

CAPP — Planejamento de Processo Auxiliado por Computador: esse sistema computacional está encarregado de gerar o fluxo produtivo das peças e componentes dentro do sistema de produção, conhecido como roteiro de produção. Normalmente, as

peças são catalogadas em famílias, agrupadas por suas características similares de fabricação, permitindo o desenvolvimento de planos padrão de processo para cada família.

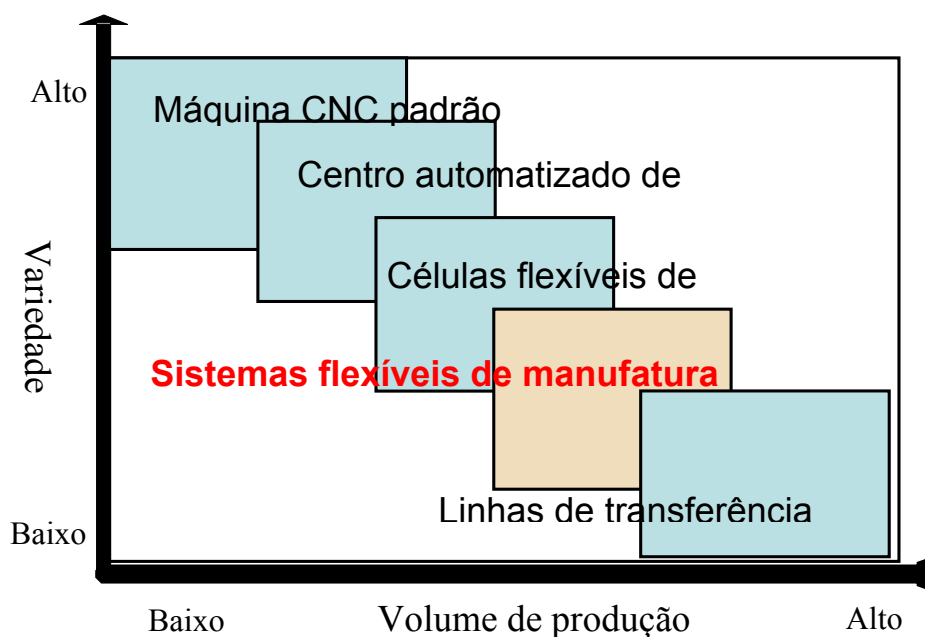
CAM — Manufatura Auxiliada por Computador: desenvolve atividades de geração, transmissão e controle de execução de programas de comando numérico aplicados às máquinas-ferramenta e robôs, sistemas de manipulação de materiais, inspeção e teste da produção. Na realidade, o CAM engloba uma série de atividades que, de certa forma, pode ser desmembrada em suas próprias tecnologias.

Cabe ressaltar que um dos grandes problemas de implementação dos sistemas CIM consiste na falta de padronização entre os fabricantes dos sistemas computacionais, dificultando a interação entre os vários módulos (SLACK, N., et. al.,1997).

Uma segunda questão importante, associada aos sistemas CIM, diz respeito a quando a empresa deve executar sua implementação. Segundo TUBINO (2000) a experiência tem mostrado que, a tentativa de transpor os sistemas convencionais de produção diretamente para a proposta do sistema CIM, não tem trazido bons resultados, “pois estaremos apenas informatizando sistemas ineficientes”. O mais lógico e recomendável consiste em: inicialmente, rever o sistema atual e eliminar todas as atividades que não agregam valor aos produtos, conforme proposto pela filosofia JIT/TQC, para só então evoluir na informatização dos fluxos de informação e produção.

Como visto anteriormente, a adoção do sistema CIM pode contemplar, em última análise, a missão corporativa. Prosseguindo dentro dessa abordagem, será classificada, vide figura 2.2.2, no nível de chão de fábrica e de acordo com a variável volume-variedade de produção como segue:

- máquinas ferramentas de controle numérico computadorizado (CNC);
- centros automatizados de controle numéricos computadorizados;
- células flexíveis de manufatura;
- sistemas flexíveis de manufatura;
- linhas de transferência flexível.



**Figura 2.2.2 Classificação de sistemas de manufatura (adaptado de MORANDIN JUNIOR, O, 1999).**

Segundo SLACK, N. et al., (1997), os sistemas de produção diferem em seus níveis de flexibilidade e desempenho econômico e, portanto, cada um vai ser apropriado a diferentes partes do volume-variedade. Na figura 2.2.2 são ilustradas as características de volume-variedade de alguns dos tipos de sistema de produção, ou seja, de acordo com o tipo utilizado em uma determinada manufatura, existe a tendência de aumento ou diminuição de volume e variedade de produtos.

Conforme ilustrado na figura 2.2.2, as máquinas ferramentas de CNC isoladas podem lidar com variedades muito altas, mas tornam-se anti-econômicas se os volumes não forem baixos. Os centros automatizados de CNC ampliam levemente a faixa de volumes que podem ser manufaturadas. As células flexíveis de manufatura (FMC) que, normalmente, não incluem transferências automáticas entre máquinas, podem lidar com volumes mais altos economicamente, mas limitam a variedade de peças e formas a serem feitas. Os sistemas flexíveis de manufatura (FMS) ocupam o nível intermediário, enquanto que as linhas de transferência flexíveis (LTF) são destinadas à faixas de produtos estreitas, mas com altos volumes.

Os sistemas apresentados por SLACK, N. et al., (1997) podem ser enquadrados em sistemas automatizados de manufatura e além das características volume x variação apresentam algumas outras, como segue:

## 2.3 Sistemas automatizados de manufatura

O uso do termo automação significa, atualmente, integrar uma ampla variedade de informações e engenharia aos processos de produção, para fins estratégicos (GAITHER, N; FRAZIER, G., 2001).

### 2.3.1 Máquinas CNC padrão

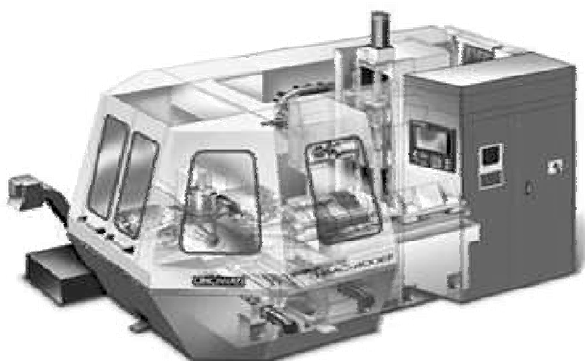
Máquinas CNC (*control numeric computer*) padrão, são máquinas que possuem seus próprios computadores, nos quais, um conjunto de instruções é codificado e armazenado sendo, pois, responsáveis por todo o funcionamento da máquina, provê com isso maior repetibilidade e precisão. Máquinas CNC são idealmente apropriadas para variações na configuração da peça de trabalho, são também adequadas para centros de produção de pequenos lotes, uma vez que podem ser, convenientemente, re-programadas para operar com trocas de produtos e mudanças no projeto das peças, vide figura 2.3.1 (SLACK, N., et. al.,1997), (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).



**Figura 2.3.1 Máquina-ferramenta de controle numérico computadorizado (CNC)(FERREIRA, 1998)**

### 2.3.2 Centros automatizados, com CNC.

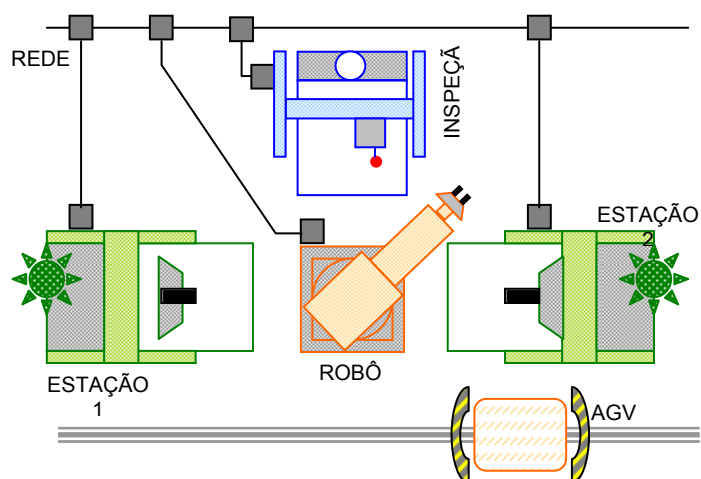
Centros automatizados de controle numérico computadorizado, compostos de máquinas CNC, definido em termos de *grau de liberdade de movimento*, em comparação com as máquinas CNC comuns, um dos motivos porque é conseguida a produção de peças com um grau de complexidade maior, vide figura 2.3.2 (SLACK, N., et. al.,1997).



**Figura 2.3.2 Centro de Usinagem, Fabricante Cincinatti (BENINCASA, A,X, 2003)**

### 2.3.3 Células flexíveis de manufatura

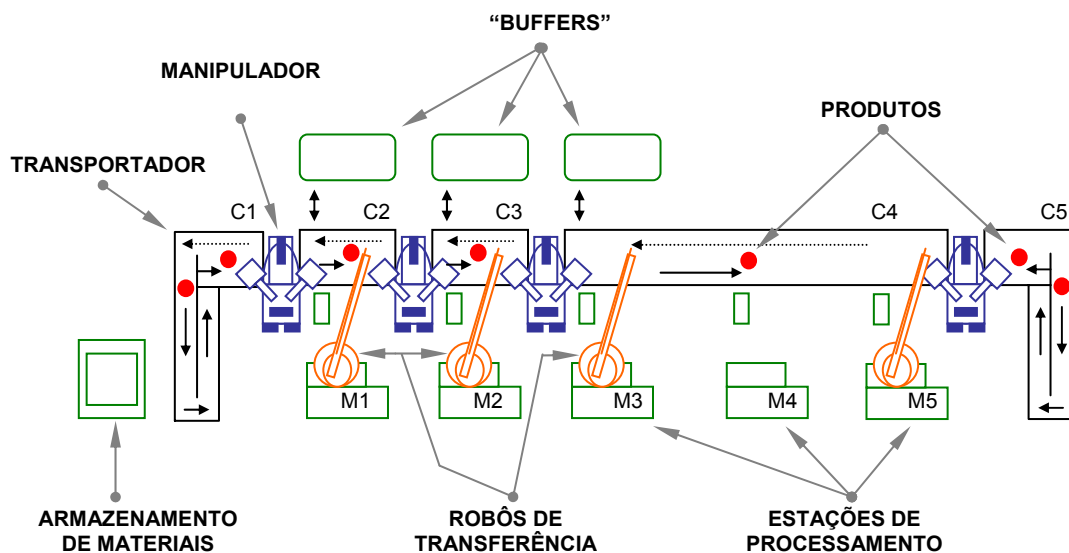
Células flexíveis de manufatura (FMC), figura 2.3.3, caracterizam-se por conter agrupamentos de máquinas em sua distribuição física, de acordo com a similaridade de suas tarefas. São utilizadas na produção de pequenos lotes ou até mesmo peças individuais e bastante versáteis quanto a mudanças de tipo de peças. A flexibilidade é obtida pela capacidade de processar uma variedade de diferentes peças, bastando para isso alterar a configuração de seus componentes (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).



**Figura 2.3.3 Célula flexível de manufatura (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).**

### 2.3.4 Linha de transferência flexível (LFT).

A linha de transferência flexível (LFT), figura 2.3.4 é utilizada na fabricação em alta escala e difere das linhas convencionais pela possibilidade de produção de peças diferentes em qualquer ordem, porém o fluxo do material pela linha não é arbitrário. A direção é definida pelo sistema de transporte que é em linha (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).



**Figura 2.3.4** Linha de Transferência Flexível (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).

Dentre os sistemas automáticos de manufatura abordados, o de maior interesse para o escopo desse trabalho é o sistema flexível de manufatura (FMS), por sua abrangência e complexidade, portanto, no próximo capítulo será dada ênfase especial a esse sistema.



## CAPÍTULO 3

# ***SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (FMS)***

### 3. SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (FMS)

Sistemas flexíveis de manufatura (FMS) preenchem uma lacuna que é a concepção de um sistema de alta produção e flexibilidade existente entre linhas de transferência e máquinas CNC (comando numérico computadorizado) padrão. Isso ocorre por combinarem os benefícios da alta produção da linha de transferência flexível (LFT) com a flexibilidade da máquina CNC padrão, sem, contudo, agregar a inflexibilidade proveniente da LFT e a ineficiência das máquinas CNC padrão (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).

Cada peça tem um número de operações predefinidas, das quais, uma ou mais, são executadas em cada estação de máquinas ou montagem (RÁNKY, P., 1983).

A ordem em que essas peças são manufaturadas é dada por uma lista ou programação (*scheduling*). A programação define, por um período de tempo, que operação obrigatoriamente será executada, em qual peça e máquina. Em sistemas convencionais de manufatura, se um evento imprevisto acontece, como a quebra de uma máquina e, devido à programação usar método determinístico, a produção desse e de outros itens afetados pelo evento é descontinuada (RÁNKY, P., 1983).

Os *sistemas flexíveis de manufatura (FMS – Flexible Manufacturing Systems)* são compostos por estações de processamento interconectadas através de um sistema de movimentação e armazenagem de materiais e controlados por um sistema integrado de computador. O sistema recebe o nome de “flexível” por ser capaz de processar uma variedade de diferentes tipos de peças, simultaneamente, nas várias unidades de trabalho (MOREIRA, D.A., 1996a).

A flexibilidade pode ainda conferir ao sistema recurso de reprogramação para que, se algum equipamento parar por qualquer motivo, o plano de produção e o sistema de controle poderão alterar rotas e reagendar a produção (RÁNKY, P., 1983).

Dentro do conceito de FMS, deve-se enfatizar que o sistema somente será flexível dentro de um quadro de trabalho composto por um “mix” de produtos (TEMPELMEIER, H.; KUHN, H., 1993). Mix, segundo DIXON (1992) é a composição de produtos com características diferentes que são fabricados conjuntamente em um dado intervalo de tempo.

TEMPELMEIER e KUHN (1993) apresentam os tipos de flexibilidade que podem ser obtidos em um FMS. Seguem os aspectos de flexibilidade relacionados aos elementos de FMS:

- *flexibilidade de máquina* descreve a facilidade com que a mesma pode variar de uma operação a outra. Por exemplo, a troca, na máquina, de

uma ferramenta por outra localizada em um *magazine de ferramentas* local. Caberia nesse contexto, a discussão de quão rápido é o processo de configuração de uma máquina durante essa mudança, com as instruções para a realização da nova tarefa (o chamado tempo de configuração);

- *flexibilidade ao lidar com materiais* é a habilidade de um FMS no transporte de peças e na localização das mesmas. Pode ser influenciado pelo projeto técnico e *layout* dos caminhos de transporte;
- *flexibilidade de Operação* é a possibilidade de haver tipos de peças capazes de serem processadas por diferentes tecnologias e distintas seqüências de operações (planos de processo). Quanto maior a flexibilidade de operações, melhor a distribuição entre as máquinas dos recursos a serem transformados, aumentando o potencial de produção em FMS em termos da quantidade de produtos.

Toda essa flexibilidade traz uma série de benefícios implicando inclusive na flexibilidade da programação da produção. Porém, nessas condições, encontrar uma programação que permita atingir certos objetivos, torna-se uma tarefa bastante complexa (GROOVER, M. P., 2000).

A flexibilidade, portanto, deve assegurar no sistema a capacidade de responder rapidamente frente ao acontecimento de um fato indesejável e previsível, ou ainda de formular uma estratégia ofensiva ou defensiva diante de uma mudança inesperada (GUPTA, Y.P.; GOYAL, S., 1989).

KÜNZLE (1990, apud, INAMASU, R.Y., 1995) destaca algumas características para um FMS:

- capacidade de processar diferentes componentes, com pouca ou quase nenhuma intervenção humana para adaptação das máquinas, ou interrupção do processo de fabricação para re-configuração do conjunto de equipamento;
- capacidade de processar simultaneamente peças diferentes;
- capacidade de processar uma determinada variedade de peças, utilizando o mesmo equipamento e o mesmo sistema de controle;

- alto grau de flexibilidade na escolha de uma ou mais estações para cada operação e na conservação da continuidade da produção, mesmo quando uma estação de trabalho está fora de serviço devido a falha ou manutenção;
- alto grau de automação devido a utilização de máquinas e equipamentos com capacidade de operação autônoma e interfaces inteligentes para acesso de materiais e troca de informações;
- fluxo intensivo de informações a serem tratadas pelo sistema de controle;
- capacidade de adaptação às alterações no projeto dos produtos e processos.

Weck e Ogasawara (WECK, et al., 1991; OGASAWARA, 1983, apud, INAMASU, R.Y., 1995) apresentam os seguintes objetivos para o FMS:

- aumento da produtividade:
  - alta utilização das unidades de produção;
  - redução do tempo de montagem/preparação;
  - aumento da taxa de utilização dos equipamentos;
  - redução da mão de obra direta;
- aumento da flexibilidade:
  - variedade de produtos;
  - melhor resposta às mudanças das condições de mercado;
  - melhor resposta às mudanças de projeto;
- redução de estoque:
  - de peças em processo;
  - de ferramentas;
  - de tamanho do lote;

- redução do tempo entre estações de trabalho;
- motivação dos operários:
  - aumento do trabalho variado;
  - criação de novos incentivos de trabalho;
  - aumento da segurança dos operadores.

### 3.1 Componentes

Segundo Groover (2000), os componentes de um FMS consistem em três categorias principais:

- estações de processamento;
- sistemas de movimentação e armazenagem de materiais;
- sistema de controle por computador.

Esses componentes são melhor descritos a seguir.

A versatilidade inerente de um FMS induz a um grande número de configurações das estações de processamento e alternativas de roteamento do fluxo de material, características essas que fazem da programação e controle de um FMS problemas complexos e mutáveis. Os complicadores do problema de controle são propriedades dinâmicas do sistema. Por exemplo: máquinas e sistemas de manuseio de material falham aleatoriamente; materiais produzidos tornam-se obsoletos; metas de produção podem mudar imprevisivelmente, em resposta a uma requisição não programada da expedição.

#### 3.1.1 Estações de Processamento

Em um FMS as estações de processamento podem ter variadas funções, de acordo com as características dos elementos que a compõem.

Um elemento de manipulação de materiais executa a carga de peças brutas para a máquina da estação. A peça acabada, após o término da seqüência de transformação é acomodada no elemento de armazenamento de materiais dessa estação, pelo manipulador. O elemento de armazenamento nessa estação é o “*buffer*” ou estoque em

processamento, de interface entre o FMS e o sistema externo. As operações de carga das peças brutas para o FMS e de descarga de peças acabadas para o exterior podem ser efetuadas manualmente. Nesse caso a estação de carga e descarga deve possuir duas “portas”, uma automática ligando a estação ao sistema de transporte, e outra manual para carregar e descarregar a peça do FMS. Neste caso uma configuração permite utilizá-la como uma estação de armazenamento local, podendo ser considerada por autores como GROOVER (2000) como parte do sistema de manipulação e armazenamento de materiais, uma vez que não geram alteração no estado da peça, somente a manipulam.

Na maioria das aplicações atuais, as estações de processamento são tipicamente centros automatizados de controle numérico computadorizado (CNC) que realizam operações de usinagem em famílias de peças. Contudo, sistemas flexíveis de manufatura estão sendo projetados com outros tipos de equipamentos de processamento, incluindo estações de inspeção, entre outros (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).

Uma estação de processamento pode ser configurada com apenas uma máquina CNC com capacidade para troca de ferramentas, pelo menos um elemento de armazenamento e um de manipulação de materiais. Em termos funcionais, a estação depende das características das máquinas que a compõem. Portanto, pode-se apresentar variadas estações de processamento como torneamento, solda, limpeza, inspeção, podendo-se detalhar até o nível necessário de especificação, como por exemplo, uma estação de centro de torneamento para eixo com engrenagem (INAMASU, R. Y., 1995).

Note-se que, em estações como de solda ou de montagem, um robô pode tomar o lugar da máquina CNC e ser utilizado para a execução da tarefa. Nesse caso, o robô não pode ser considerado apenas como elemento de manipulação de materiais, mas sim, como executor das operações (INAMASU, R. Y., 1995).

Em todas as variações de configuração, tipos e modelos de máquinas CNC e dispositivos, as peças devem ser fixadas e referenciadas. A partir da fixação, o sistema deixa a cargo da máquina a execução de todas as ações necessárias para a conclusão da operação prevista no processo. Ao término dessa, a peça é retirada e deve seguir para a próxima operação. O sistema de fixação da peça é automático e faz parte da máquina. A mesma pode ser considerada “ocupada” enquanto houver peça em seu sistema de fixação (INAMASU, R. Y., 1995).

Apesar dos centros de usinagem possuírem sistema de limpeza, nada impede que haja no FMS uma estação de limpeza, ou ainda, de uma máquina com essa finalidade estar alocada em uma estação junto ao centro de usinagem. Todas essas variações de arranjos e combinações dependem do fluxo das peças e da eficiência dos elementos e sistemas de transporte e manipulação de materiais (INAMASU, R. Y., 1995).

### 3.1.2 Sistema de movimentação e armazenamento de materiais.

Vários tipos de equipamentos de movimentação de material automáticos são usados para transportar peças entre estações de trabalho e, algumas vezes, incorporam a armazenagem dentro de sua função (GROOVER, M. P., 2000).

Os elementos de um sistema de movimentação de materiais podem ser agrupados em: robôs industriais, veículos auto-guiados (AGV), transportadores e armazéns automatizados (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).

Um robô é basicamente um manipulador re-programável, multifuncional, projetado para movimentar materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais através de movimentos programáveis para executar tarefas variáveis. Os tipos principais de robôs incluem manipuladores mecânicos e robôs programáveis (figura 3.1.1) (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).

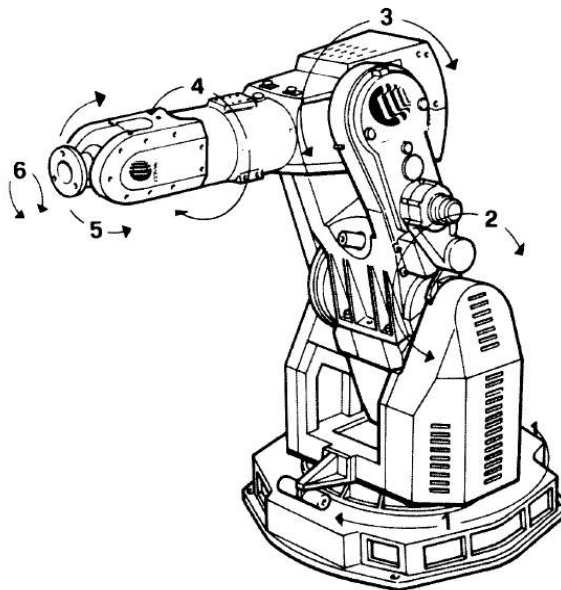


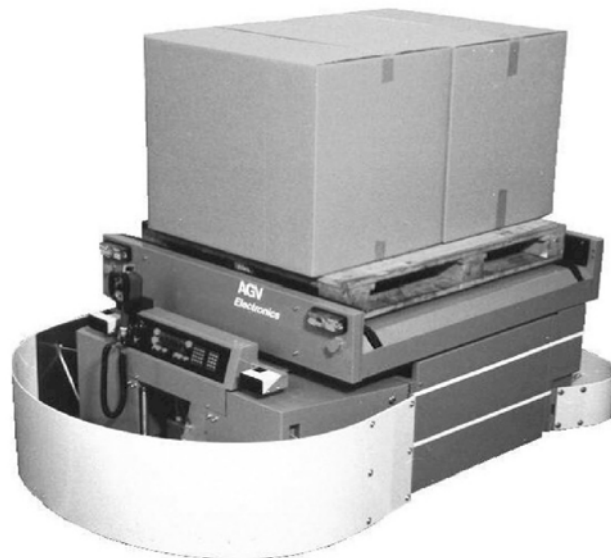
Figura 3.1.1 – Robôs programáveis (BENINCASA, A.X.,2003)

Robôs programáveis podem ser agrupados em 1a., 2a. e 3a. geração, de acordo com sua capacidade de programação, realimentação e sensoriamento (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).

Há diversas aplicações de robôs em sistemas flexíveis. Os manipuladores mecânicos são utilizados em funções específicas nas quais realizam movimentos repetitivos para as seguintes aplicações: carga e descarga de máquinas, transporte de objetos frágeis, embalagem e distribuição e serviços de almoxarifado (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).

Já os robôs programáveis permitem um controle contínuo de trajetória, ponto a ponto, permitindo posicionamento preciso e repetibilidade. Assim, são utilizados em substituição às operações manuais, tais como: furação, rebarbação, pintura e montagem automatizada (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).

Um outro elemento dos sistemas de movimentação de materiais são os veículos auto-guiados (figura 3.1.2). Eles constituem sistemas de transporte pelos quais veículos carregam, transportam e descarregam cargas, controlados por computador próprio, sem operador (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).



**Figura 3.1.2 – AGV, Fabricante Amerden Inc. (BENINCASA, A.X.,2003)**

Os AGVs transportam ferramentas e/ou estrados de peças desde os estoques até os locais de trabalho (ou vice-versa) segundo trajetórias que são programadas e determinadas pelo próprio equipamento.



Isso implica, nas versões mais sofisticadas de AGVs, em um certo grau de inteligência embarcada, inclusive com capacidade de se comunicar por rádio-frequência (RF) com o computador gerenciador do sistema de manufatura em que se insere, como será visto mais a frente, pois esse assunto é uma parte do escopo deste trabalho .

Ele tem, basicamente, a mesma liberdade de uma empilhadeira manual, mas não requer um operador. Através de seu computador de bordo, o veículo está apto para receber informações ou comandos, tais como a identificação da carga, seu destino e outras instruções especiais que são fornecidas por um computador externo pertencente ao sistema de controle do FMS, juntamente com o computador de bordo e dispositivos de controle de tráfego ou, em alguns casos, por entrada manual.

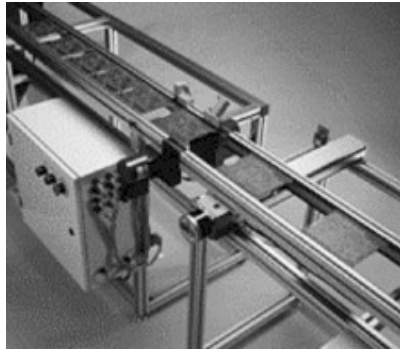
Segundo, MORANDIN JUNIOR, O, (1999) o uso de AGVs proporciona:

- flexibilidade: possibilidade de alteração de rotas, com acesso direto às estações de processamento e armazéns automatizados;
- monitoração em tempo real: possibilidade de alteração de rotas devido à reprogramação de peças;
- segurança: trafegam a uma velocidade média de 20 a 70 m/min; possuem microcomputadores que se comunicam com o computador central para evitar colisões, e sensores para precisão de posicionamento;
- capacidade de carga: deve-se considerar tamanho, volume e peso da carga transportada.

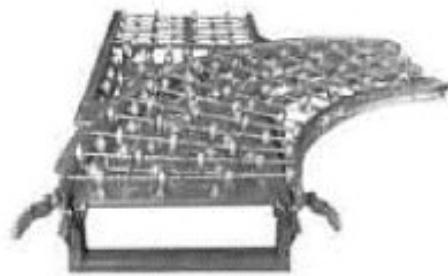
Outro elemento dos sistemas de movimentação de materiais, os transportadores, podem ser classificados em vários tipos, cujos principais são: transportadores por roletes, correias, com camada de ar e modulares (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).

Transportadores por correia e/ou roletes são utilizados há muito tempo, desde a introdução das linhas de produção, nas quais a diversidade de produtos é pequena e a rota é fixa. Apesar disso, aparecem também como componentes acessórios em FMS.

A figura 3.1.3 ilustra um transportador por correia e a figura 3.1.4, um desvio de transportador por roletes.



**Figura 3.1.3 Transportador por Correia (BENINCASA, A.X.,2003)**



**Figura 3.1.4 Desvio em Transportador por Roletas (BENINCASA, A.X.,2003)**

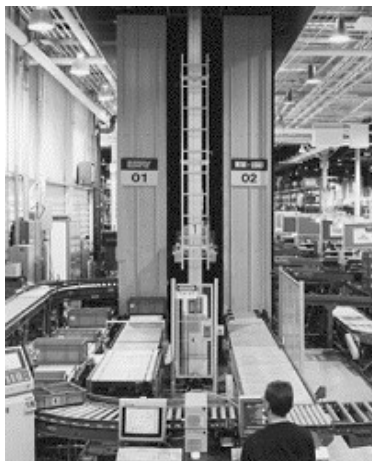
Já transportadores com camada de ar usam fluxo de ar para suportar e movimentar estrados numa pista, a qual é usualmente formada por um duto de ar com orifícios no topo.

Jatos de ar podem ser usados para desviar os estrados para bifurcações na pista, permitindo controle de roteamento. Esse tipo de transportador é normalmente usado para transporte de itens pequenos e frágeis.

O transportador modular é composto de pequenos módulos retangulares, assemelhando-se a pequenas seções do transportador por correia. Cada módulo tem um motor, duas correias com movimentos controlados e sensores de estrados. Os módulos são colocados um após o outro para que os estrados possam trafegar sobre a seqüência estabelecida. Como os módulos são individualmente controlados, os sistemas transportadores modulares são extremamente versáteis (MORANDIN JUNIOR, O, 1999).

Segundo o autor MORANDIN (1999), o dispositivo mais utilizado para a armazenagem em FMS é o magazine automatizado ou AS/RS (*Automated Storage and Retrieval System* - sistemas automáticos de armazenamento e recuperação de materiais) (figura 3.1.5).

Há diferentes tipos de magazines, podendo ter estrutura vertical, horizontal com movimentação “cartesiana” ou mesmo em carrosséis, entre outros.



**Figura 3.1.5 – Sistema AS/RS (BENINCASA, A.X.,2003)**

O sistema de movimentação de peças proporciona duas funções. A primeira é o movimento de peças entre estações de processamento. A segunda função é a integração com os centros de trabalho individuais.

### **3.1.3 Sistema de controle do FMS**

O sistema de controle é responsável por toda a tarefa de coordenação das atividades do “chão de fábrica”. Por ser o foco da proposta desta dissertação, será detalhado no próximo capítulo.

# CAPÍTULO 4

## ***CONTROLES UTILIZADOS EM SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA***

## **4. CONTROLES UTILIZADOS EM SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA**

Atualmente, tanto o ciclo de vida de produtos, como sua variedade e alta qualidade, impõem às modernas e competitivas fábricas, sistemas com alto grau de flexibilidade e controle. E, ao longo dos últimos vinte anos, muitas pesquisas têm sido feitas nesses campos.

Na área de controle de chão de fábrica as respostas a essa demanda incluem progressos na automação do sistema de manufatura, assim como ampla base de conhecimentos. Os esforços para realizar avanços em fábricas automáticas trazem o foco no desenvolvimento de sistemas de manufaturas com alto nível de flexibilidade e inteligência. (KOUISS, et al. 1997)

O entendimento dessa arquitetura de controle é necessário a fim de que se possam gerar módulos apropriados para construção de sistema de controle de chão de fábrica (KOUISS, et al. 1997).

Nesse capítulo é apresentada uma descrição geral sobre as arquiteturas de controle do chão de fábrica em FMS, abordando as vantagens e desvantagens, juntamente com sistemas de controle que fazem uso dessas arquiteturas para, em seguida, apresentar em breves resumos o que pesquisadores fizeram e/ou estão fazendo em termos de aplicação e/ou implementação.

### **4.1 Definições de elementos de controle**

Alguns elementos que são comumente encontrados nas diversas arquiteturas de controle serão caracterizados antes da apresentação de tais arquiteturas.

#### **4.1.1 O controlador inteligente**

O controlador inteligente pode ser uma entidade, cujo mecanismo é provido de inteligência artificial e que coordena a comunicação, decisões e banco de dados, podendo ter uma estrutura interna hierárquica e função de aprendizado conforme o ambiente. Pode também incorporar um sistema de recuperação de erros, através da habilidade de reconhecimento adquirida devido ao resultado do aprendizado e ser habilitado a colocar o sistema no estado normal (FRANKLIN, S.; GRASSER, A.1996, apud CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOOK, S. H. 2000).

### **4.1.2 O controlador de chão de fábrica (SFC)**

O SFC é responsável por todo o gerenciamento, coordenação e controle do chão de fábrica. Ele está situado no nível mais alto do sistema, normalmente é por onde a comunicação com os níveis externos ao chão de fábrica, é feito. Consiste em dois módulos: o de programação e o de coordenação. O módulo de programação determina a otimização das tarefas, considerando a capacidade finita das máquinas. O de coordenação monitora o controlador inteligente durante a produção, executando a programação através do despacho de ordens de serviço para então ser novamente monitorado pelo controlador inteligente (CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOOK, S. H. 2000).

### **4.1.3 O controlador de estação de trabalho (WC)**

O WC está normalmente localizado entre o SFC e EC e sua função principal é coordenar e monitorar a comunicação recebida ou enviada destes dois níveis. É bastante semelhante ao SFC, porém a área de atuação é menor.

### **4.1.4 O controlador de equipamento (EC)**

O EC está localizado no nível mais baixo da arquitetura de controle. Ele provê comunicação entre os níveis mais altos da arquitetura com os mais diferentes equipamentos provenientes dos mais diversos fabricantes, eliminando com isso qualquer dificuldade de comunicação.

Um EC converte os dados das instruções de processamento vindos de níveis mais altos (WC), na forma diretamente usada pelo controlador da máquina específica, monitorando a operação desse equipamento sob controle (CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOOK, S. H. 2000).

## **4.2 Arquiteturas**

Basicamente são em número de quatro, conforme abaixo:

- centralizada;
- hierárquica;
- heterárquica;
- híbrida;

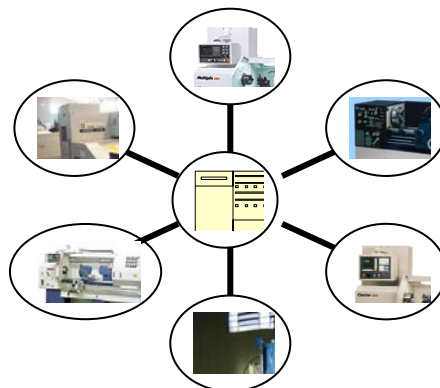
### 4.2.1 Arquitetura centralizada

O sistema de controle centralizado (figura 4.2.1) utiliza um computador central ou um controle que gerencia e mantém todos os planos e informações de funções dos processos, além das atividades do sistema em um banco de dados global. Máquinas empregadas no chão de fábrica executam os comandos provenientes desse controle central que, então, os realimenta com novos resultados.

Como vantagem, pode ser citado o acesso às informações globais, possibilidade de otimização global e, as informações de estado do sistema têm uma única fonte. Como desvantagem, deve ser levado em consideração o tempo de resposta vagaroso e inconsistente, confiabilidade em uma única unidade de controle e “*software*” de controle difícil de modificar.

Tradicionalmente, um controle centralizado depende do desempenho do computador central. Essa arquitetura é mais adaptada para um ambiente completamente determinístico. (DESHMUKH, et al. 1995) No sistema flexível de manufatura o sistema de controle centralizado não tem seu melhor desempenho. (CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOOK, S. H. 2000).

O sistema de controle centralizado pode utilizar-se de uma entidade como o SFC (controlador de chão de fábrica), porém sem o controlador inteligente.



**Figura 4.2.1 - Sistema de controle centralizado (adaptado de CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOOK, S. H. 2000)**

### 4.2.2 Arquitetura hierárquica

A organização tipicamente encontrada de sistemas de manufatura é a hierárquica, o que sugere inicialmente também o uso de uma arquitetura hierárquica de controle.

Jones e Mclean (JONES, A.T., MCLEAN, C.R. 1986, apud, BONGAERTS, L., et. al., 2000.) propuseram uma visão hierárquica com respeito ao CIM e um arcabouço (*framework*) formal e sistemático para atacar os problemas de controle de manufatura. Uma adequada arquitetura hierárquica contém muitos módulos de controle arranjados em forma de uma estrutura piramidal, em que níveis distintos têm uma proposta e função. O estabelecimento da hierarquia é usado como base para a estruturação do sistema, assim como para controlar. No sistema hierárquico, o fluxo de comandos é tradicionalmente de cima para baixo e o retorno da informação de baixo para cima (BONGAERTS, L., et. al., 2000.).

O sistema de controle hierárquico (figura 4.2.2) é formado por um rígido relacionamento mestre / escravo entre dois níveis adjacentes de controladores, isto é, SFC (*Shop Floor Controller*), e WC (*Workstation Controller*), ou WC e EC (*Equipment Controller*). Nesse sistema a troca de informações entre controladores do mesmo nível não é permitida. Dentro da hierarquia dos controles, uma superior enxerga somente o subordinado imediato e não o subordinado do subordinado, em outras palavras o SFC enxerga somente o WC e não o EC. Nessa concepção cada controlador tem certa autoridade dentro de seu setor. Devido a esses benefícios, uma estrutura comum do controle de chão de fábrica pode ser definida usando um sistema hierárquico em que os planejadores centrais do SFC geram uma programação genérica e um plano de roteamento. Esse plano é enviado aos níveis mais baixos, WC, onde é refinado e detalhes são adicionados. Finalmente a programação chega ao EC para a execução do trabalho. Esse sistema tem dificuldade para lidar com mudanças no chão de fábrica, (CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOOK, S. H. 2000).

Mais recentemente a arquitetura hierárquica tem sido incrementada por vários caminhos, levando a modificação da mesma como coordenação distribuída (DARBY, M.L., WHITE, D.C., 1988, apud, BONGAERTS, L., et. al., 2000.). O rigoroso relacionamento entre mestre / escravo começa a ser relaxado para as mais interativas formas de coordenação. Tal forma é comum, por exemplo, dentro da solução do controle industrial, em que, o controle centralizado pode se tornar impraticável devido à complexidade da unidade a ser controlada ou aos atrasos introduzidos pela separação física das operações. Modificando a arquitetura hierárquica, (SENEHI, M.K., et. al., 1994, apud, BONGAERTS, L., et. al., 2000.), também se permite a comunicação ponto a ponto entre as unidades de máquinas. Através desse caminho o mais baixo nível pode



trocar dados melhor sincronizados, ou reagir a distúrbios específicos. (BONGAERTS, L., et. al., 2000.).

Devido à natureza estática e determinística da arquitetura de controle hierárquica torna-se difícil sua modificação, a fim de incorporar mudanças não previstas dentro do sistema.



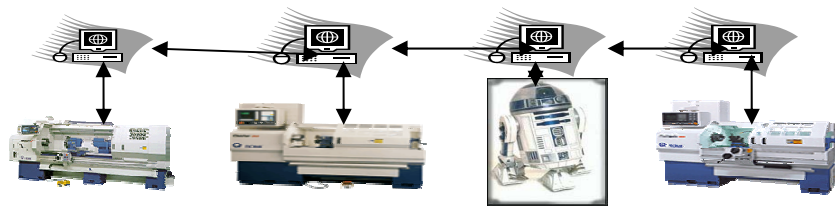
**Figura 4.2.2 - Sistema de controle hierárquico (adaptado de CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOOK, S. H. 2000)**

### 4.2.3 Arquitetura heterárquica

Para superar as desvantagens associadas ao controle hierárquico, muitas pesquisas, segundo HATVANY (1985), DUFFIE (1986) e PIPER (1986), (apud, BONGAERTS, L., et. al., 2000.) têm levado à proposta para uma heterarquia. O controle heterárquico segundo LIN e SOLBERG (1994), (apud BONGAERTS, L., et. al., 2000.) é uma forma de controle altamente distribuída, implementada através de um sistema cooperativo de processos independentes, agentes centralizados ou controle explícito direto. Decisões do controle podem ser alcançadas através da aceitação mútua e da livre troca de informações entre os agentes participantes.

O sistema de controle heterárquico é composto de um conjunto de controladores semi-independentes sem uma hierarquia de mestre/escravo (figura 4.2.3). A característica principal desse sistema é a atividade com autonomia local completa e cooperação para tomada de decisões. Conseqüentemente, esse sistema de controle leva o chão de fábrica a ser modular, expansível e auto-configurável. Além disso, modernas tecnologias de computadores foram implantadas e a velocidade de processamento de dados aumentada, conseqüentemente, as comunicações entre controladores são feitas a velocidade muito mais alta e o peso computacional dessa comunicação foi reduzido.

Uma vantagem dessa arquitetura é poder ser aplicada em um sistema industrial relativamente complexo, pois consiste de entidades bastante autônomas ligadas em barramento, retendo um mínimo de informação global. Por outro lado, isso causa uma grande dificuldade na resolução de conflitos, já que as mesmas têm a visão unilateral do fabricante de cada entidade, pois dentro desta arquitetura o controlador de equipamento, EC, não é usado (CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOON, S. H. 2000).



**Figura 4.2.3 - Sistema de controle heterárquico (adaptado de CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOON, S. H. 2000)**

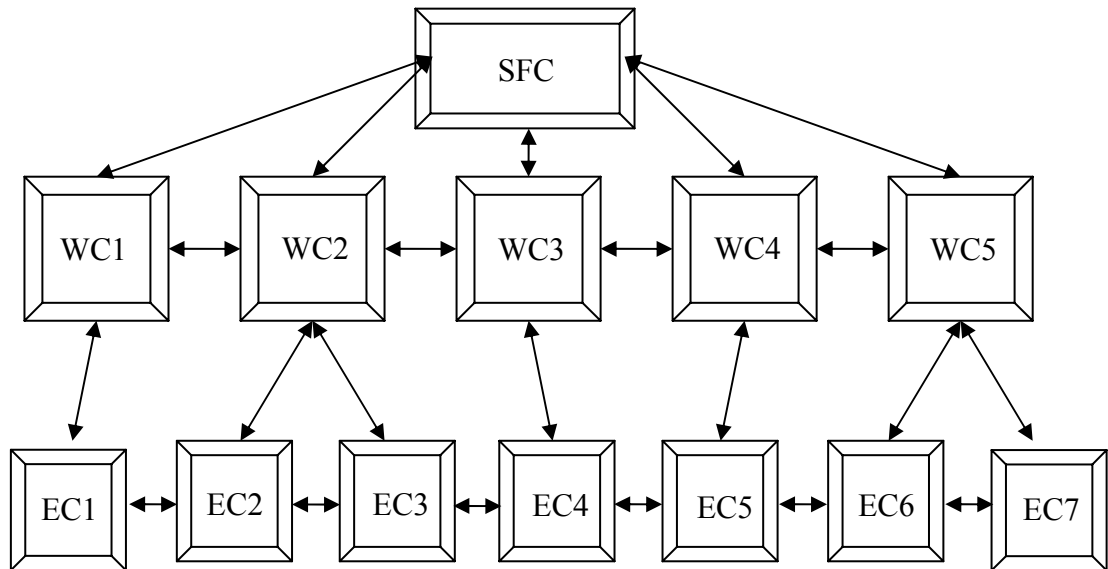
#### 4.2.4 Arquitetura híbrida

A característica de controle híbrido (figura 4.2.4) tem uma relação fraca de mestre / escravo entre níveis de controle. A comunicação poderá ser feita, dentro do mesmo nível, em toda sua extensão, como WC1 - WC5 ou EC1 - EC7.

Uma entidade superior (SFC) é responsável pela inicialização de uma seqüência de atividades, mas somente pelo início da tarefa e, considerando que subordinados podem cooperar para completá-la em seqüência, eles a terminam. Para a conclusão de tarefas, cada entidade pode interagir com controladores do mesmo nível.

A arquitetura de controle é considerada híbrida se as entidades WC e EC além de outra qualquer que venha a fazer parte desses níveis da arquitetura, forem interconectadas umas às outras, como um sistema heterárquico, fazendo com que seja modular, expansível e auto-configurável e a relação com o nível mais alto, SFC, será uma arquitetura hierárquica. Nesse caso, para conectar controladores de diferentes níveis, um protocolo de comunicação deverá ser implementado efetivamente, levando em conta a importância do diálogo. Por exemplo, o protocolo *fieldbus* deverá ser usado se a comunicação for em tempo real e crítica, entre um robô e uma máquina CNC. Já em outros tipos de comunicação em que a mesma não é em tempo real, a *ethernet*

poderá ser usada, como no caso de tarefas ou dados transferidos do MRPII, CAD/CAM, para os controles de chão de fábrica, (CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOOK, S. H. 2000)



**Figura 4.2.4 - Sistema de controle híbrido (adaptado de CHOI, K. H.; KIM, S. C.; YOOK, S. H. 2000)**

### 4.3 Sistemas

#### 4.3.1 Sistema Multi-agente

Sistemas multi-agentes, provavelmente sejam um dos mais importantes candidatos à sucessão dos sistemas orientados a objetos. A discussão teórica sobre esses novos modelos é parte dos programas de pesquisa dos principais centros em IA do mundo (WAZLAWICK, R.S. et.al.2002).

Uma das principais vantagens do sistema multi-agente em relação a outras técnicas, está no proveito de que tais sistemas tiram da capacidade de paralelismo e distribuição das arquiteturas de computadores. Tais características também levam à certa independência entre os agentes de programas, permitindo-se que sistemas muito complexos possam ser implementados através do comportamento mais simples de diversos agentes.

Serão introduzidas a seguir as características e classificações dos vários tipos de agentes. Partindo de um contexto mais amplo, será dada uma visão sobre aspectos de

agentes e multi-agentes e, a após isso, uma descrição da arquitetura de controle será feita.

### **4.3.1.1 Definições**

#### **4.3.1.1.1 Agente**

A pesquisa num dicionário resulta em diversos significados atribuídos à palavra "Agente":

- alguém que atua ou tem poder ou capacidade de atuar;
- alguém empossado por outro para a sua representação;
- uma forma através da qual algo é feito ou causado (instrumento);
- uma força ou substância que provoca uma mudança (agente químico, agente infeccioso).

Esse conjunto de definições incorpora algumas características que identificam um agente como entidade computacional. Fornece uma idéia das propriedades que um agente deverá apresentar para estar em conformidade com os significados tradicionais da palavra.

#### **4.3.1.1.2 Agentes computacionais**

Também no domínio da informática existem definições para agente, com pontos em comum, mas também com suficientes diferenças para dar a noção de um limite, por vezes tênue, entre um agente e outra aplicação computacional. De fato, dependendo em grande parte do sistema em que se inserem, o comportamento e características associadas a cada agente podem variar bastante. Algumas definições encontradas para agente dentro campo computacional (FIGUEIREDO, L. C.; JOTA, F.G., 2004):

- “entidade controlada por um programa que está situado num ambiente e é capaz de agir com autonomia enquanto persegue os seus objetivos” OLIVEIRA, (2002, apud FIGUEIREDO, L. C.; JOTA, F.G., 2004);
- “qualquer programa de computador que possa ser visto como percebendo o ambiente através de sensores e nele atuando através de atuadores é um

agente” RUSSELL NORVIG (1995, apud FIGUEIREDO, L. C.; JOTA, F.G.,2004);

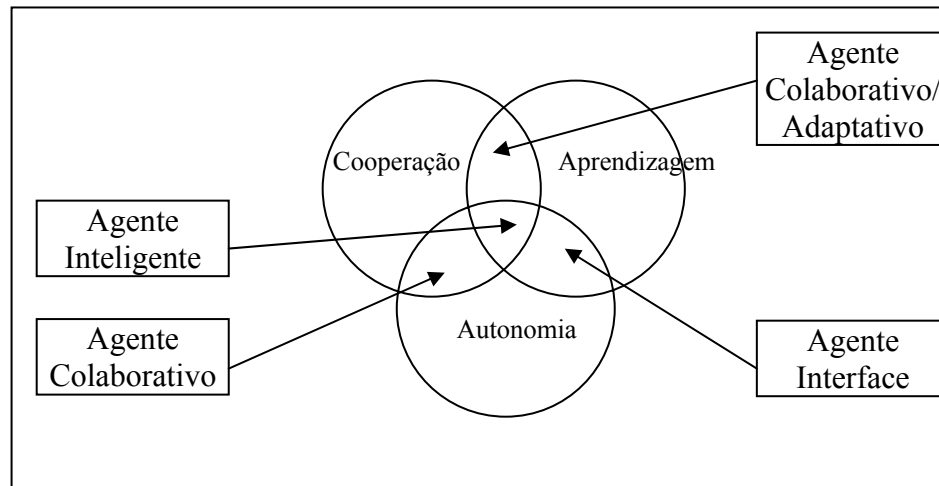
- “um componente de *software* e / ou *hardware* que atua num ambiente com o objetivo de cumprir as tarefas para que foi concebido” NWANA (1996, apud FIGUEIREDO, L. C.; JOTA, F.G.,2004);
- “agentes são sistemas computacionais que habitam um ambiente dinâmico, percebem e atuam sobre o mesmo, mediante uma série de objetivos ou realização de tarefas para as quais foram concebidos” MAES (1995, apud FIGUEIREDO, L. C.; JOTA, F.G.,2004);

Da análise dessas definições surgem algumas características que melhor podem identificar um agente :

- **capacidade de percepção:** O agente deve possuir percepção do ambiente que o rodeia;
- **capacidade de atuação:** Tem que ser permitida ao agente a execução de ações no ambiente onde está inserido;
- **autonomia:** O agente deve executar as ações de forma autônoma, para realizar os seus próprios objetivos sem intervenção do ser humano;
- **estado interno:** A informação contida no agente permite a definição do seu estado interno e determina a sua forma de atuar sobre o ambiente. O ambiente no qual o agente se insere e a ação que sobre ele deve efetuar são fatores de extrema importância para as suas características específicas. Os requisitos do sistema determinam o comportamento e estrutura do agente, originando a divisão em diferentes categorias.

#### 4.3.1.1.3 Classificação

É o ambiente em que o agente se insere que vai determinar as suas características, induzindo à criação de famílias observando os aspectos em comum. A figura 4.3.5 representa uma possível classificação para agentes segundo as suas características de autonomia, cooperação e aprendizagem (NWANA 1996, apud FIGUEIREDO, L. C.; JOTA, F.G.,2004).



**Figura 4.3.1 Classificação dos agentes (adaptado de FIGUEIREDO, L. C.; JOTA, F.G.,2004)**

Na figura 4.3.1 é possível observar o ambiente em que o agente está inserido. Este ambiente é que vai determinar as características do mesmo e que induzirão à criação de famílias, nas quais observando-se aspectos comuns quando da intersecção dos agentes cooperação, aprendizado e autonomia nota-se o surgimento do agente inteligente.

#### 4.3.1.2 Sistemas multi-agente

A idéia primária de sistema multi-agente resulta da incorporação de vários agentes para resolver um problema de complexa resolução por parte de um só. Tirando partido da capacidade e características de cada um implementam-se processos de interação que podem conduzir mais facilmente à realização de um objetivo.

Da interação entre os vários elementos resultam as principais características de um sistema multi-agente (FIGUEIREDO, L. C.; JOTA, F.G.,2004):

- **quando um agente não pode resolver o problema;** devido a falta de informação ou capacidade, pode um único elemento não conseguir, isoladamente, resolver o problema, caso contrário não seria necessário um sistema multi-agente, podendo a solução ser encontrada sem desvantagens por um só agente;
- **sistema descentralizado de controle;** fator de robustez, nenhuma entidade é responsável pelo controle direto do sistema, não estando esse dependente de uma única entidade;

- **a informação está distribuída;** ao distribuir e replicar a informação por vários agentes diminui-se a probabilidade de perda de informação.

A seguir, uma arquitetura hipotética, como exemplo, será descrita com o intuito da melhor compreensão de uma arquitetura multi-agente.

### **Arquitetura de um multi – agente**

Um arcabouço do sistema multi-agente para escolha de um AGV será descrito.

A abordagem empregada na arquitetura de controle prevê duas categorias de agentes que são (AOKI, A.R., et al,2001):

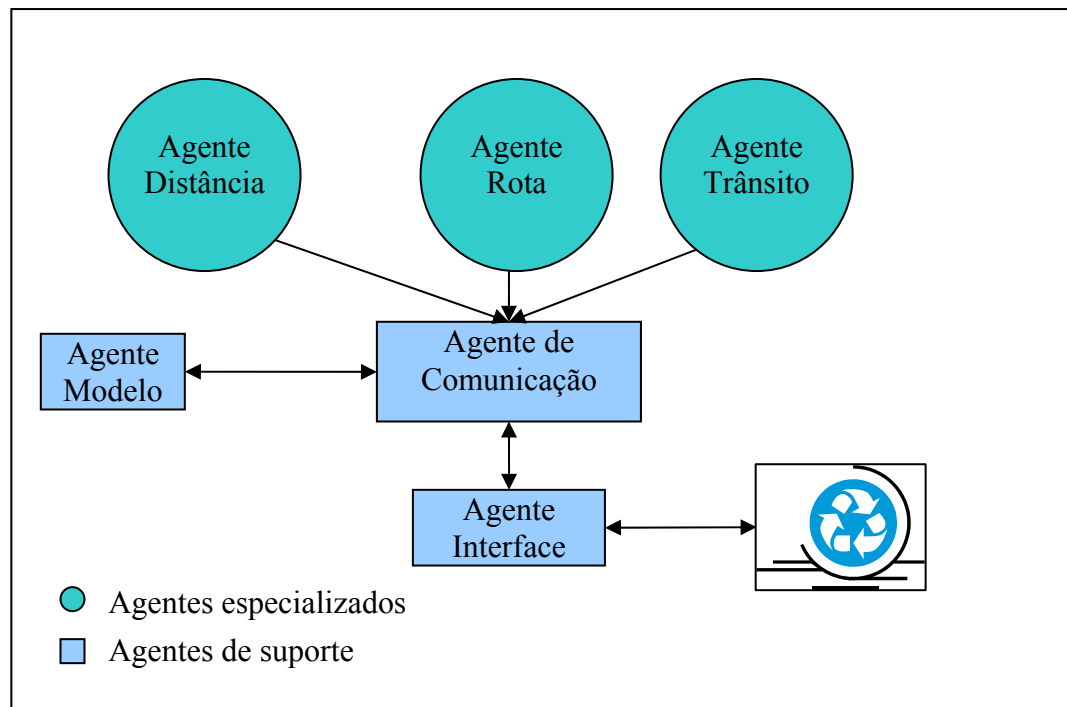
- **agente de suporte,** é responsável por prestar serviços que auxiliem o processo de tomada de decisões, tais como estabelecer e coordenar a comunicação entre agentes, manter um modelo computacional do mundo real atualizado, entre outras;
- **agente especializado,** é detentor do conhecimento específico empregado na análise e solução dos problemas encontrados no domínio de aplicações.

Na categoria agente de suporte serão agrupados alguns agentes especiais, a fim de facilitar a tarefa como um todo, vide figura 4.3.2 (AOKI, A.R., et al,2001):

- agente de interface: responsável pela entrada e saída de informações consistentes e atualizadas do sistema (AOKI, A.R., et al,2001);
- agente modelo: contém o modelo orientado a objeto do sistema físico real e continuamente compara esse modelo com as informações vindas do agente interface, atualizando-a (PANDIT, S. et al, 2001);
- agente de comunicação: responsável pela interconexão dos agentes, funciona como um centro de comunicação, em que todas as mensagens enviadas passam por ele e são direcionadas para o respectivo destinatário. Também mantém os integrantes informados de quais agentes estão ativos (AOKI, A.R., et al,2001).

Com respeito aos agentes especializados é preciso elaborar a forma como será o processo de tomada de decisão, no caso, três agentes serão utilizados como segue:

- **agente distância:** encarregado por desenvolver um cálculo inicial da distância entre todos os AGVs disponíveis e os locais das solicitações (AOKI, A.R., et al,2001);
- **agente rota:** Determina possíveis rotas para os melhores AGVs alcançarem o local da solicitação (AOKI, A.R., et al, 2001);
- **agente de trânsito:** Realiza uma ponderação na distância do caminho, de acordo com as condições de tráfego e calcula o tempo para atender a solicitação. (AOKI, A.R., et al, 2001).



**Figura 4.3.2 –Arquitetura de um sistema multi-agente para escolha de um AGV, (adaptado AOKI, A.R.,et al,2001).**

#### 4.3.2 Sistema holônico de manufatura (HMS)

KOESTLER, (1968, apud, BALASUBRAMANIAN, S.; ZHANG, X.; NORRIE, D.H., 2000) propôs o conceito básico, do sistema holônico, para explicar a tendência de auto – organização de sistemas sociais e biológicos. Esse conceito tem sido viabilizado no contexto de sistema de manufatura através de um consórcio internacional da indústria e meio acadêmico, relativo a sistemas de manufatura holônico (HMS)

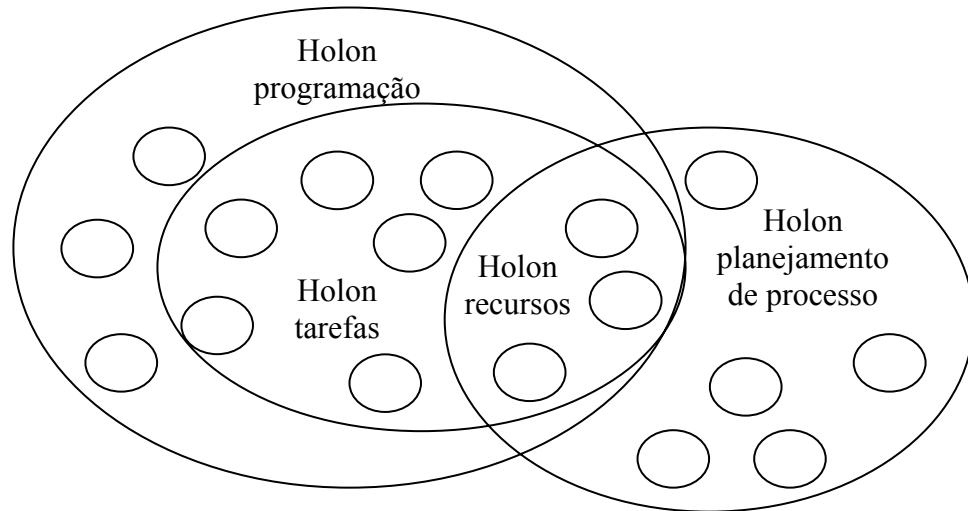


(CRISTENSEN, J.H.,1994, apud, BALASUBRAMANIAN, S.; ZHANG, X.; NORRIE, D.H., 2000) e através de outras pesquisas (SHEN, W.; NORRIE, D.H., , apud, BALASUBRAMANIAN, S.; ZHANG, X.; NORRIE, D.H., 2000.). Um sistema de manufatura holônico é formado de diferentes tipos de holons, que são autônomos, unidades confiáveis de manufatura e de processamento de informação.

Um holon é uma parte identificável do sistema de manufatura que tem uma única identidade, todavia pode ser uma parte do todo holônico. Um holon consiste de uma parte do processo de informação e, freqüentemente, uma parte física do processo. Autonomia e cooperação são características básicas do holon, já re-configuração e adaptabilidade são características básicas de um sistema holônico. Um holon tem autonomia suficiente para criar e controlar a execução dos próprios planos e pode cooperar com outros holons, no desenvolvimento de planos, a fim de atingir metas colocadas pelo sistema. A arquitetura do holon e a propriedade holônica (incluindo autonomia, recursividade) têm sido descritas de diferentes maneiras, GOU, et.al. (GOU, L.; LUH, P.B.; KYOYA, A., 1998, apud BALASUBRAMANIAN, S.; ZHANG, X.; NORRIE, D.H., 2000.), MATHEWS (MATHEWS, J., 1995.), BRUSSEL, et. al. (BRUSSEL, H.V.; WYNS, J.; VALCKENAERS, P.; BONGAERTS, L.; PEETERS, P., 1998, apud, BALASUBRAMANIAN, S.; ZHANG, X.; NORRIE, D.H., 2000.), BUSSMANN (BUSSMANN, S., 1998, apud, BALASUBRAMANIAN, S.; ZHANG, X.; NORRIE, D.H., 2000.), e CARISTENSEN (CARISTENSEN, J.H.; NORRIE, D. H.; SCHAEFFER, C., 1994, apud, BALASUBRAMANIAN, S.; ZHANG, X.; NORRIE, D.H., 2000.). Além disso, pesquisa com HMS foi reportada através de BRUSSEL e VALDKENAERS (VAN BRUSSEL, A. H. VALDKENAERS, P., 1999, apud, BALASUBRAMANIAN, S.; ZHANG, X.; NORRIE, D.H., 2000.).

A manufatura holônica está voltada para níveis mais altos dos controles de produção e de processo. Todavia, no baixo nível, o controle de processo necessita ser descrito a partir de um ponto de vista funcional. Por essa razão ele é modelado e implementado usando “blocos de função” (FB) de acordo com a norma – 1499(FB1499). O FB 1499 é o rascunho industrial desenvolvido recentemente pelo IEC (International Electrotechnical Commission) para distribuição de medidas de processos industriais e sistemas de controle (IEC TC65/WG6 parte 1, 1998 e IEC TC65/WG6 parte 2, 1998, apud, BALASUBRAMANIAN, S.; ZHANG, X.; NORRIE, D.H., 2000.). No FB 1499 o modelo de gerenciamento de recursos e de função depende da plataforma do sistema

operacional específico (BALASUBRAMANIAN, S.; ZHANG, X.; NORRIE, D.H., 2000.).



**Figura 4.3.3 – Sistema holônico de manufatura (adaptado de RAMOS, C., 1996).**

A figura 4.3.3 ilustra um sistema holônico de manufatura, destacando partes de um todo em que são observados recursos como máquinas, robôs, etc. e tarefas como ordens de serviço, estão agrupadas no holon programação.

Observa-se que o “holon programação” pode ser agrupado com outros para definir o “holon planejamento da produção”. Estes podem fazer parte de um ou mais sistemas, simultaneamente. Exemplificando, o “holon recurso” da figura 4.3.7 é membro do “holon programação” e do “holon planejamento de processo”. Pode-se observar a flexibilidade do sistema em comparação às arquiteturas estáticas e tradicionais de controle de FMS. Contudo, um grande esforço é despendido para manter o sistema coeso (RAMOS, C., 1996).

#### 4.4 Resumo das arquiteturas apresentadas

Na tabela 4.4, é possível ter, de maneira resumida, uma visão geral das características, vantagens e desvantagens dos principais arquiteturas de controle de FMS.

Características	Vantagens	Desvantagens
<b>Centralizado</b>		
Um único computador de controle. Decisões de controle centralizadas. Atividades do sistema registradas em um banco de dados global.	Acesso a informações globais. Possibilidade de otimização global. Informações de estado do sistema têm uma única fonte.	Tempo de resposta vagaroso e inconsistente. Confiabilidade em uma única unidade de controle. Software de controle difícil de modificar.
<b>Hierárquico</b>		
Múltiplos computadores (heterogêneos) Relacionamento mestre/ escravo entre os níveis. Supervisor coordena atividades dos subordinados. Banco de dados agregado, em cada nível.	Implementação gradual, redução dos problemas de desenvolvimento de software, redundância. Tempo de resposta rápido. Possibilidade de comportamento adaptativo.	Limitação computacional dos controladores locais. Dificuldade para lidar com distúrbios. Dificuldade no tratamento de controle adaptativo dinâmico. Dificuldades de realizar futuras modificações não previstas.
<b>Heterárquico</b>		
Múltiplos computadores. Sem relacionamento mestre/ escravo. Tomada de decisão distribuída na coordenação de atividades. Banco de dados local.	Total autonomia local. Redução da complexidade do software. Tolerância a falhas implícita. Facilidade de re-configuração e adaptação. Difusão rápida das informações.	Limitações técnicas dos controladores. Falta de padrões para protocolo e sistemas operacionais. Necessidade de capacidades de rede muito altas. Não disponibilidade de software.
<b>Híbrida</b>		
Múltiplos computadores (heterogenia). Fraco relacionamento mestre / escravo. Supervisor da o início as tarefas. Demais níveis terminam de executar as tarefas sem dependência direta do nível superior. Tomada de decisão distribuída. Banco de dados local e agregado a cada nível. Combinação de reação a distúrbio com um alto e previsível nível de desempenho.	Implementação gradual. Tempo de resposta rápido. Comportamento adaptativo. Alta flexibilidade. Facilidade de re-configuração e adaptabilidade. Otimização global. Resposta em tempo real.	Desempenho computacional limitado a cada nível. Limitações técnicas dos controladores. Dificuldade no tratamento de controle adaptativo. Dificuldade para manter o sistema coerente.

**Tabela 4.4 Resumo das características, vantagens e desvantagens dos sistemas de controle, adaptação (BONGAERTS, L., et. al., 2000; FLETCHER, M.; BRENNAN, R.W.; NORRIE, D.H., 2003)**

#### 4.5 Pesquisas atuais no contexto restrito do trabalho

Serão apresentados a seguir vários trabalhos sobre os mais diversos tipos de controles, bem como suas arquiteturas, utilizados em FMS. Os resumos foram organizados em ordem cronológica de 1988 a 2004, de forma a mapear as principais tendências de controle utilizadas e/ou estudadas durante esse período e também direcionados de modo a ilustrar melhor como o controle de FMS está sendo utilizado.

**BEM-AREH, MOODIE e CHU, (1988)** descrevem dois métodos de controle para FMS utilizando sistema a base de regras, um no nível celular, considerando o roteamento de peças e o outro no nível de estação de trabalho, em que a estratégia do equipamento de controle é constantemente revista. (DAY, J. E.; HOTTENSTEIN, M. P., 1970, apud BEM-AREH, D. H.; MOODIE, C. L.; CHU, C. C, 1988). O primeiro método roteia as peças entre as máquinas na célula e usa uma base de conhecimento que guarda fatos sobre as facilidades e evidências reconhecidas para gerar a decisão. O segundo, controla o equipamento da estação de trabalho, leva uma tabela de soluções, o estado do sistema que estão corretos, com as variáveis de decisão. Ambos são presentes nos resultados da simulação.

Para desempenhar facilmente as tarefas mencionadas, o sistema é estruturado com uma base de dados que armazena a tabela de decisão e as variáveis correspondentes. O sistema de suporte operacional é responsável pelo controle em tempo real da manutenção das facilidades, também monitora o estado corrente do sistema, o tempo todo. Esse estado conduz a uma nova regra de controle das variáveis.

Nesse método, em que a política é estática, especialmente quando o ambiente é altamente dinâmico, sobretudo o de regras, pode-se gerar um aprendizado que incrementa a base de conhecimento responsável por várias condições e decisões (SARIN, S. C. DAR-EL, E. M., 1984, apud BEM-AREH, D. H.; MOODIE, C. L.; CHU, C. C, 1988).

**RAMOREZ, MURO e SILVA, (1993)** apresentaram uma metodologia para construir um modelo de FMS. Nesta metodologia foi incluído um controle decisório em tempo real, utilizando sistemas de regras hierárquicas. O modelo usa informação em dois níveis:

Distúrbios (travamentos, sobressaltos, etc) utilizam uma rede Petri;

Desempenho (tempo de resposta do sistema) usando simulação com regra baseada no sistema e meta de produção.

Como os sistemas de regras trabalham de frente para trás, isto é, primeiro a meta de produção é computada, para então o conflito ser considerado com o melhor nível de solução, é levado em consideração o tempo de solução dado pelo usuário e o tempo usado pelo conflito.

Os sistemas trabalham em cima da aplicação de regras de despacho e é dada a solução para o conflito.

Dependendo da meta de produção e do estado do FMS, planos de processos podem ser usados para resolver o conflito.

**AUSFELDER, CASTELAIN e GENTINA, (1994)** focaram o trabalho na modelagem de comandos e propõem uma hierárquica e modular visão orientada à estrutura física do FMS. As exigências provenientes do seu monitoramento são discutidas e integradas no modelo proposto. A modularidade produz abertura para ampliações relativa à produção de recursos dos produtos e a ferramenta de modelagem, utiliza rede Petri.

A primeira parte do trabalho descreve característica desejável do comando de um FMS, assim como segurança, robustez, e adaptabilidade. A característica resultante, vinda da flexibilidade da instalação, é mostrada. Na segunda parte, o método de modelagem é apresentado com análise estrutural do FMS, definindo um comando natural hierárquico com coordenação do processo de produção, a sincronização da produção de recursos dos produtos e coordenação interna, são tratadas separadamente.

O método rigoroso leva a um modelo estruturado e modular de rede Petri que pode ser usado para simulação do FMS ou traduzindo códigos do comando.

**MATHEWS, (1995)** em sua publicação deteve-se em três linhas de pesquisa. Na primeira foi demonstrado que um sistema de manufatura inteligente pode designar sistemas técnicos devido à abrangência da classe holônica, definida através da sua aderência na arquitetura organizacional.

Na segunda, a significativa organização da arquitetura holônica apoiou-se na argumentação de sua eficiência e eficácia para sistemas de manufatura, e também através de outras considerações como de O'HARA (O'HARA, G.,1990, apud MATHEWS, J., 1995) com seu conceito de "inteligência artificial distribuída".

Na terceira, tem sido discutido que o arcabouço holônico não oferece, claramente, um arcabouço descritivo no foco de chão de fábrica.

Sistema de manufatura inteligente pode ser projetado tanto para uso restrito como para classes mais amplas de sistemas técnicos os quais são estruturados ao longo

da linha holônica de pensamento. A propriedade da arquitetura organizacional holônica foi levada a ser aplicada na descrição de sistema inteligente de manufatura (IMS) para chegar à característica fundamental da estrutura do IMS.

**RAMOS, (1996)** mostra com uma nova arquitetura e protocolo de negociação, o atendimento de uma programação dinâmica de um sistema de manufatura. Essa arquitetura é baseada em dois paradigmas: sistema multi-agente e sistema holônico. A principal contribuição dessa arquitetura é a existência de holons representando tarefas, juntamente com holons representando recursos.

O uso do protocolo mencionado visa possibilitar a atribuição dinâmica de operações, utilizando os recursos do sistema de manufatura, a fim de poder realizar a tarefa proposta. Esse protocolo envolve a fase de renegociação, sempre que exceções aparecem.

**OU-YANG e LIN, (1998)** descreveram um despacho de trabalho usando o conceito de “licitação” sob um arcabouço de controle híbrido. O maior objetivo do sistema proposto é habilitar a célula de controle. Certos trabalhos elaborados através do controle de chão de fábrica em uma estrutura hierárquica podem ser desempenhados pela célula de controle no arcabouço desenvolvido. A maior contribuição dessa pesquisa é:

1. O programa do controle celular pode ser modularizado através do uso do conceito de “licitação”. Por isso para adicionar ou remover um controle celular do arcabouço, a “licitação” o tornará bastante flexível (OU-YANG, C.; LIN, J.S., 1998).
2. Através do aumento da capacidade das células de controle, a variação da utilização de computador entre a faixa central do chão de fábrica e o local da célula de controle pode ser reduzida (OU-YANG, C.; LIN, J.S., 1998).
3. Desde que o despacho de trabalho é carregado pelo controle de chão de fábrica, travamentos que ocorriam no arcabouço de controle heterárquico durante o processo de licitação, nessa nova proposta, não têm mais ocorrido (OU-YANG, C.; LIN, J.S., 1998).

**SOUSA e RAMOS, (1999)** Apresentaram uma arquitetura holônica para uma programação (*scheduling*) dinâmica do sistema de manufatura.

Essa arquitetura propõe que agentes representando recursos ou sistemas, combinem recursos e tarefas baseadas em holons. A principal vantagem é a facilidade de acesso para atividade de tarefa que são suportados no holon tarefa.

**CHOI, et. al., (2000)** modelaram um sistema multi-agente híbrido para controle de um chão de fábrica utilizando um FMS. Os sistemas de manufatura são compostos de muitas atividades que podem ser monitoradas e controladas por diferentes níveis de abstração. Um chão de fábrica pode ser considerado um importante nível para desenvolver um FMS, no entanto, por ser um ambiente extremamente dinâmico, eventos inesperados ocorrem continuamente impondo mudanças nas atividades planejadas.

Para tratar desse problema, foi utilizado um sistema de controle apropriado, que é responsável pela coordenação e controle do fluxo físico da manufatura e também do fluxo de informação. Foi usada para isso uma arquitetura de controle que necessita de três níveis, a saber: o controle de chão de fábrica (shop floor control - SFC), o agente controlador inteligente (IAC) e o agente controlador (EC). A metodologia atrás do desenvolvimento do sistema de controle é o paradigma de um multi-agente inteligente que habilita o sistema de controle de chão de fábrica a ser independente, autônomo e distribuído, tornando o chão de fábrica adaptável às mudanças no ambiente de manufatura.

Para modelar o sistema de controle foi utilizada orientação a objeto, sendo organizada uma coleção de objetos discretos. Esta modelagem não visou somente conter os dados e o comportamento, mas também associar um objeto físico com o chão de fábrica. Nesse desenvolvimento a interface entre a parte física (máquinas, robôs) e o sistema de controle de chão de fábrica são implementados levando em consideração a interface normalmente proprietária das máquinas e robôs.

Para compor a modelagem do chão de fábrica foi utilizado o método UML (*unified modeling language*) e utilizada arquitetura multi-agente inteligente juntamente com arquitetura híbrida com três níveis de controladores: o equipamento, o agente inteligente e o controlador de chão de fábrica, tornando o ambiente independente, distribuído, cooperativo e eficiente, características inerentes às arquiteturas utilizadas.

**KOTAK, et. al., (2000)** Compararam controle de chão de fábrica hierárquicos e holônico, usando um ambiente virtual de manufatura.

Os controles de chão de fábrica hierárquicos são tipicamente centralizados, já os controles holônicos utilizam uma arquitetura distribuída, devido ao próprio conceito de holon, provendo uma maior robustez ao ambiente de controle e um aperfeiçoamento no desempenho da produção. Nesta pesquisa, segundo **KOTAK (2000)** foi criado um ambiente 3D de manufatura virtual a fim de serem feitas as comparações entre os controles hierárquicos e holônicos. Esse ambiente virtual foi também utilizado para analisar resultados e quantificar seus efeitos no comportamento do sistema em um ambiente controlado.

A proposta primária é a comparação, do desempenho relativo entre controles supervisorio e holônico. Uma proposta secundária é estabelecer a linha base para pesquisa futura que inclui medidas de robustez e integração com sistemas externos tal como “SCADA” (*supervisory control and data acquisition*), “ERP”, “CAPP” e “PLC”, facilitando o desenvolvimento e teste de sistemas de controle holônico em ambiente virtual no chão de fábrica.

A seguir serão apresentadas algumas conclusões a que o autor KOTAK (2000), chegou:

- simulação de eventos discretos é um poderoso e convincente caminho de validação de alternativas e medida de desempenho de sistemas para unidades fabris;
- visualização facilitada pelo ambiente 3D permitindo representação de fatores físicos;
- o inventário em processo pode ser usado para compensar os efeitos provenientes de perturbações.

Os resultados dessa pesquisa, ainda segundo KOTAK (2000), propicia base para trabalhos futuros, como segue:

- avaliação da verdade holônica ou a negociação da estratégia básica;



- avaliação de sistema multi-produção que se desequilibra. Esse estudo foi focado em um sistema simples de apenas um produto;
- caminho para outros modelos de simulação utilizando novos segmentos da manufatura, por exemplo: ERP, MRP, etc.

**BONGAERTS, et. al., (2000)** examinam e comparam os sistemas hierárquico, heterárquico e holônico, propondo para reflexão um sistema de controle distribuído, utilizando elementos hierárquicos com sistemas distribuídos. Por um lado, sistemas hierárquicos forçam a um comportamento rígido com respeito a mudanças e a distúrbios, por outro, uma fraca e flexível hierarquia que, de preferência, utilizando comandos, possa obter previsibilidade e ainda, oportunidade para aperfeiçoar o desempenho. De acordo com os autores (BONGAERTS, L., et. al) este conceito é a essência do sistema holônico de manufatura (KOESTLER, A., 1967, apud BONGAERTS, L., et. al, 2000; VALKENAERS, P., et.al., 1994).

O controle hierárquico envolve uma estrutura de comando/resposta entre entidades de alto e baixo nível. A arquitetura AMRF (JONES, A.T., MCLEAN, C.R. 1986, apud, BONGAERTS, L., et. al., 2000.) foi uma dos primeiros sistemas de controle hierárquico que, entre outros benefícios, instalou um arcabouço (*framework*) formal para controle de manufatura, também chamado de alocação de recursos. Mais tarde, ainda segundo BONGAERTS (2000) essa arquitetura torna-se madura para controle de chão de fábrica, como CIMOSA (VERNADAT, F.,1993, apud, BONGAERTS, L., et. al., 2000), e PAC (BAUER, A., et. al., 1991, apud, BONGAERTS, L., et. al., 2000.) mais funções são incluídas no controle de chão de fábrica bem como na alocação de recursos.

A maioria das arquiteturas de controle de chão de fábrica dentro da manufatura integrada por computador (CIM) era hierárquica. (BONGAERTS, L., et. al., 2000). No entanto, experiências práticas têm indicado que muitos sistemas hierárquicos tendem a ter problema com relação a distúrbios (DILTS, D.M., BOYD, N.P., WHORMS, H.H., 1991). Por isso, HATVANY (1985, apud, BONGAERTS, L., et. al., 2000), e DUFFIE e PIPER (1986, apud, BONGAERTS, L., et. al., 2000) buscaram inspiração na auto-organização natural de sistemas biológicos e na economia de mercado (VAMOS, T., 1983; HOGEWEG, P., HESPER, B., 1979, apud, BONGAERTS, L., et. al., 2000) e introduziram o controle heterárquico. Surgia assim, um novo paradigma para a

fabricação que apontava para um aperfeiçoamento da reação a distúrbios, se comparado ao paradigma de controle hierárquico, além do que esse controle é levado a praticar um alto grau de autonomia e de decisão para ser compreendido pelas entidades de nível mais baixo, independente do tipo de operação (BONGAERTS, L., et. al., 2000). Entretanto, o controle heterárquico apresentava problemas com relação à otimização global e a previsibilidade (DILTS, D.M., BOYD, N.P., WHORMS, H.H., 1991.).

Ao comparar as demais arquiteturas com o sistema holônico de manufatura observa-se que entidades são providas de um grau de autonomia, mas são facilmente integradas com o resto das operações através de mecanismo de cooperação (CHRISTENSEN, J. 1994, apud, BONGAERTS, L., et. al., 2000). Um dos elementos básicos do paradigma de manufatura holônico (VALCKENAERS, P., et. Al., 1994) é a incorporação do sistema de hierarquia distribuída para combinar reação a distúrbio com um alto e previsível nível de desempenho.

**GERTOSIO, MEBARKI e DUSSAUCHOY, (2000)** propuseram uma metodologia que permite a integração em um modelo simples de simulação, um modelo físico corresponde aos elementos materiais de um FMS, suas características, interações e um modelo lógico que corresponde ao modelo do sistema de controle por computador, como também suas interações com a parte física da máquina.

Essa integração permite avaliar a incidência do arcabouço de controle no desempenho do sistema de produção e também em diferentes testes dentro do sistema de manufatura para, finalmente, selecionar um que seja mais adaptado aos objetivos da produção.

A integração dinâmica das regras de programação é utilizada para testar o caminho dessa estratégia e verificar a possibilidade de implementação no arcabouço de controle.

Uma das perspectivas futuras é um modelo de alocação de recursos supervisionado através de entidades lógicas.

**ODREY e MEJÍA, (2003)** apresentam uma arquitetura de controle de sistema flexível de manufatura com uma síntese hierárquica e sistema baseado em multi-agente.

A arquitetura baseada em multi-agente, para sistema de manufatura, aparece para dar resposta adequada a solicitações, já que distribuição natural provê flexibilidade

e reação a mudanças de situação (MÜLLER, J. 1998). Muitas arquiteturas baseadas em inteligência para sistema de manufatura têm sido propostas, por exemplo, a manufatura holônica (KOESTLER, A., 1989; VAN BRUSSEL, H. et. al., 1998, apud, ODREY, N.G.; MEJÍA, G., 2003.), o NIST sistema de controle em tempo real (RCS) (ALBUS, J., 1997, apud, ODREY, N.G.; MEJÍA, G., 2003), a arquitetura MORPH (MATURANA, F.; SHEN, W.; NORRIE, D., 1999, apud, ODREY, N.G.; MEJÍA, G., 2003).

A arquitetura apresentada é provida de capacidade de reação e adaptação para recuperação de erros, no controle de larga escala, em eventos discretos no sistema de produção. Uma das maiores vantagens é a habilidade de reconfiguração do sistema. O canal de comunicação entre os agentes das três classes (produção, mediação e recuperação) pode ser redirecionado para a forma de um grupo temporário de agentes que modificam as suas estruturas internas e, ao mesmo tempo, por ter a estrutura hierárquica, a organização de novos grupos de agente é bastante facilitada. Agentes possuem a liberdade para mover-se dentro do mesmo nível hierárquico, mas não podem mover-se para outro nível.

A função do agente mediador é a de filtrar e redirecionar informação entre a produção e o agente de recuperação.

Rede Petri é utilizada para aperfeiçoar o desempenho do sistema baseado em agentes, porque descentraliza a atividade de controle de um complexo e não o usual fracasso de cenários. Provê autonomia básica para agente de recursos e define claramente as responsabilidades dos agentes de recursos e controle.

Conforme os autores ODREY e MEJÍA (2003), nessa proposta a produção, mediação e os agentes de recuperação são entidades autônomas, organizadas em uma hierarquia, mas com arquitetura reconfigurável.

A expectativa é combinar a disciplina do sistema hierárquico com a inerente habilidade de reações rápidas do sistema baseado em agente inteligente.

**FLETCHER, BRENNAN e NORRIE, (2003)** publicaram um arcabouço geral para reconfigurar um sistema inteligente de manufatura holônica com a finalidade de fabricar novos produtos, com diferentes especificações de produção e problemas associados como, falhas de máquinas e introdução de ordens de serviço com alta prioridade de execução.

Ainda, segundo os autores, a flexibilidade é a característica principal de um HMS e sua utilização propicia lotes altamente variáveis e com baixo volume de itens fabricados. Autonomia e inteligência são próprias de entidades chamadas de holon, que interagem via protocolo de cooperação, com um HMS para dar suporte a uma rotina de re-configuração, em tempo real.

Em trabalho futuro poderá ser incluída a variação de diferentes produtos ou configuração de chão de fábrica, o processo de reconfiguração é uma investigação a ser feita, bem como a possibilidade do arcabouço ser aplicado em um mundo real que é o ambiente de manufatura.

**KEUNG, IP e YUEN, (2003)** apresentam uma arquitetura escalável e flexível, para um modelo de controle inteligente e hierárquico, usada em uma estação de trabalho. O elemento chave inclui quatro níveis de funcionalidade, o nível de selecionamento de plano de processo, programação principal, seqüência de trabalho e o controle, tanto quanto o planejamento do algoritmo genético. A função desses níveis no modelo é descrito e a solução do algoritmo genético (GA) avaliada. O mecanismo do GA é testado e seus resultados publicados pelos autores. O método GA proposto não requer nenhuma suposição irreal para os objetivos das funções como, linearidade, convexidade e diferenciação, segundo os autores.

A larga escala e a complicação com o cruzamento entre os níveis são problemas que podem ser resolvidos com objetivos múltiplos, em curto espaço de tempo. O planejamento hierárquico inteligente, programação e o modelo de controle, disponibilizam um sistemático caminho para, efetivamente, alocar recursos ao longo de diferentes horizontes.

**CHENG, CHANG e WU, (2004)** baseados nas características do holon, oligarquia e aplicações, distribuídas através de técnicas orientadas a objeto, os autores propõem um roteiro sistemático para desenvolvimento de um sistema de execução para uma manufatura holônica (HMES) com recuperação de falha. O fundamento básico para desenvolver um HMES são as características do holon e oligarquia.

O procedimento para o desenvolvimento de HMES consiste de: análise de sistema, estrutura oligárquica, construção e aplicações, integração de sistemas e estágio de testes. De todos esses estágios, a estrutura oligárquica é a mais importante e consiste de sete passos:

1. construção de um módulo de abstração;
2. divisão do domínio da aplicação em componentes;
3. identificar funções genéricas dos componentes;
4. desenvolvimento de um holon genérico;
5. definir mensagens oligárquicas;
6. definir o arcabouço (*framework*) da oligarquia;
7. designar as funções dos holons.

Ainda segundo os autores, são revelados procedimentos sistemáticos provido de um novo conceito para desenvolvimento de uma nova geração de sistemas de execução de manufatura.

**TORRICO e CURY, (2004)** oferecem um modelo para controle hierárquico modular de sistemas a eventos discretos baseado no mesmo controle por agregação de estados e no controle modular clássico.

Nesse trabalho é proposta a combinação da arquitetura de controle hierárquico e modular conforme abordado por TORRICO e CURY (2002, apud TORRICO, C.R.C.; CURY, J.E.R., 2004) e WONHAM e RAMADGE (1988, apud, TORRICO, C.R.C.; CURY, J.E.R., 2004). O objetivo é obter uma arquitetura hierárquica modular baseada na agregação de estados, de modo a permitir um comportamento consistente entre os diversos níveis da hierarquia e com ação conjunta dos vários controladores implementados no baixo nível, a fim de que não sejam bloqueantes.

A aplicação do controle hierárquico foi feita com sucesso, segundo os autores. A abordagem proposta combina os ganhos obtidos pela agregação e pela modularidade. A análise da complexidade computacional poderá ser o próximo passo a ser pesquisado.

No próximo capítulo será apresentada uma proposta utilizando um sistema de controle híbrido, pelo fato do mesmo permitir a comunicação entre níveis, tanto lateralmente, como com os módulos envolvidos no processo de fabricação e controle de chão de fábrica. Com isso, será possível determinar quais são as instâncias ou momentos de tomada de decisão, descrevendo as funções utilizadas, bem como as

informações tratadas, em outras palavras, a formalização do que ocorre em nível de gerência no chão de fábrica.

# CAPÍTULO 5

## ***O MODELO PROPOSTO***

## 5 O MODELO PROPOSTO

### 5.1 Introdução ao modelo proposto

Conforme apresentado no capítulo quatro, são encontrados basicamente quatro tipos de arquitetura de controle de chão de fábrica para um FMS. Elas serão enfocadas resumidamente mostrando a tendência evolutiva das mesmas e o porquê da escolha da arquitetura híbrida em detrimento das demais. A estratégia de construção e o nível da estrutura também serão melhor enfocados.

A arquitetura **centralizada** tem como principal vantagem o acesso às informações globais, bem como a possibilidade de atualização e otimização utilizando uma única fonte. Porém, como desvantagem, o controle centralizado depende do desempenho e confiabilidade do computador central além de um software de controle de difícil modificação. Segundo Choi (CHOI, et. al., 2000) a arquitetura centralizada não é a mais aconselhada para uso em controle de FMS devido ao seu desempenho.

A utilização da arquitetura **hierárquica**, apesar de recentes incrementações que levaram ao relaxamento da hierarquia entre mestre e escravo, (DARBY, M.L., WHITE, D.C., 1988, apud, BONGAERTS, L., et. al., 2000) fazendo com que a comunicação ponto a ponto entre as unidades de máquinas fosse permitido tornando com isso que o nível mais baixo possa reagir melhor a distúrbios específicos. Essas incrementações não são suficientes para facilitar a modificação com o intuito de incorporar mudanças não previstas no sistema, bem como dificuldades em lidar com distúrbios e tratamento adaptativo.

O uso da arquitetura **heterárquica** segundo LIN e SOLBERG (1994), (apud BONGAERTS, L., et. al., 2000.) é uma forma de controle altamente distribuída e implementada através de um sistema cooperativo de processos que são independentes de agentes centralizados ou controle explícito direto.

Uma das vantagens dessa arquitetura é poder ser aplicada em um sistema industrial relativamente complexo, pois consiste de entidades bastante autônomas, ligadas em barramento que retém um mínimo de informação global. Outras vantagens são: total autonomia local, redução da complexidade do software, tolerância a falhas implícitas, facilidade de re-configuração e adaptação e difusão rápida das informações.



Em contrapartida as desvantagens dessa arquitetura estão nas limitações técnicas dos controladores, falta de padrões para protocolo e sistemas operacionais, necessidade de capacidade de rede muito alta e não disponibilidade de software.

Na arquitetura de controle **híbrida** a comunicação é feita tanto da forma hierárquica como na heterárquica fazendo com que a arquitetura seja modular, expansível e auto-configurável. Para conectar controladores de diferentes níveis, um protocolo de comunicação deverá ser implementado.

As vantagens dessa arquitetura são descritas a seguir, implementação gradual, tempo de resposta rápido, comportamento adaptativo, alta flexibilidade, facilidade de re-configuração e adaptabilidade, otimização global e resposta em tempo real.

Podem ser consideradas como desvantagens o desempenho computacional limitado a cada nível, limitações técnicas dos controladores, dificuldade no tratamento de controle adaptativo e dificuldade para manter o sistema coerente.

Devido às tendências no uso de outros sistemas como multi-agentes ou holônico incorporadas às arquiteturas de controle, a que mais se enquadra a essa conjunção é a arquitetura híbrida e, além disso, com o avanço tecnológico dos últimos anos as desvantagens foram minimizadas tornando-se uma ótima escolha como padrão.

A estratégia de construção do sistema de controle proposto por similaridade aos sistemas tradicionais (não FMS) é o de cima para baixo (*top down*).

Como o sistema de controle proposto é singular, o nível de visão estrutural é macroscópico, permitindo incursões e propostas microscópicas ao sistema.

## 5.2 O modelo proposto

A proposta é mapear em módulos quais são as instâncias ou momentos de tomada de decisão para o controle das operações no chão de fábrica, ou seja, formalizar o que ocorre em nível gerencial. Para isso o sistema de controle foi dividido em três módulos principais: gerenciador, seletivo e controle com intertravamento. Também foram definidas as informações trocadas entre os módulos.

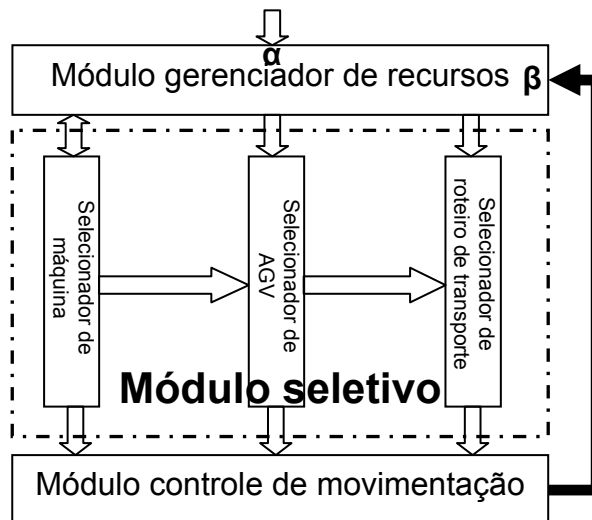


Figura 5.2 - Arquitetura proposta com o mapeamento em módulos

### 5.3 Caracterização dos módulos utilizados

#### 5.3.1 Gerenciador de recursos

A função do módulo **gerenciador de recursos** é receber a ordem de serviço proveniente da programação ou seqüenciamento, separar o plano de operação referente à peça em questão e solicitar ao **módulo seletivo** que atribua uma máquina, um AGV e um roteiro de transporte para a execução da operação.

Se o módulo gerenciador receber informações vindas do módulo **controle de movimentação**, que são prioritárias, informando que a operação “y” está em execução, este coloca o plano de operação em uma lista, dentro do próprio bloco, para aguardar seu término e então iniciar a execução da operação seguinte. Se a mesma foi concluída, o módulo gerenciador retira o plano de operação da lista e recomeça solicitando ao bloco **módulo seletiva** atribuição de máquina, AGV e roteiro de transporte para uma nova operação.

#### 5.3.2 Modulo seletivo

O **módulo seletivo** é composto de três blocos que são:

1. selecionador de máquina;
2. selecionador de AGV;
3. selecionador de roteiro de transporte.

A finalidade é selecionar, conforme o caso, máquinas, AGV e roteiros de transporte. Esse módulo recebe informações do **gerenciador de recursos** entre blocos e envia outras ao **módulo de controle de movimentação**.

### 5.3.2.1 Selecionador de máquina

O bloco **selecionador de máquina** recebe do **gerenciador de recursos** parte do plano de operação correspondente à operação a ser realizada, e as possíveis máquinas a serem utilizadas nessa operação, decide então qual máquina será usada. Caso a máquina esteja liberada, envia a resposta “máquina escolhida” ou “não disponível” de volta ao bloco **gerenciador de recursos**. Se a escolha for feita, o bloco **selecionador de máquina** enviará mensagem ao **selecionador de AGV** informando o local da máquina escolhida. Em paralelo, o **módulo controle de movimentação** é também informado sobre tal escolha.

### 5.3.2.2 Selecionador de AVG

O bloco **selecionador de AGV** é responsável pela escolha do veículo de transporte (AGV) que será usado do estoque até a máquina e vice-versa. Esse bloco recebe mensagens dos módulos selecionador de máquinas e gerenciador de recursos, informando: local da máquina e da matéria-prima ou peça semi-acabada, respectivamente. Após a escolha do AGV o módulo dispara outras duas mensagens, uma para o módulo controle de movimentação dando ciência do número do AGV escolhido e outra para o selecionador de roteiro de transporte informando os locais de matéria-prima ou peça semi-acabada, além do local da máquina.

### 5.3.2.3 Selecionador de roteiro de transporte

O bloco **selecionador de roteiro de transporte**, após ser informado sobre os locais do AGV, máquina e matéria-prima que serão usados, determina os roteiros do AGV que devem ser em número de dois:

- do local do AGV escolhido para local de origem da peça;
- da origem da peça para o local da máquina escolhida.

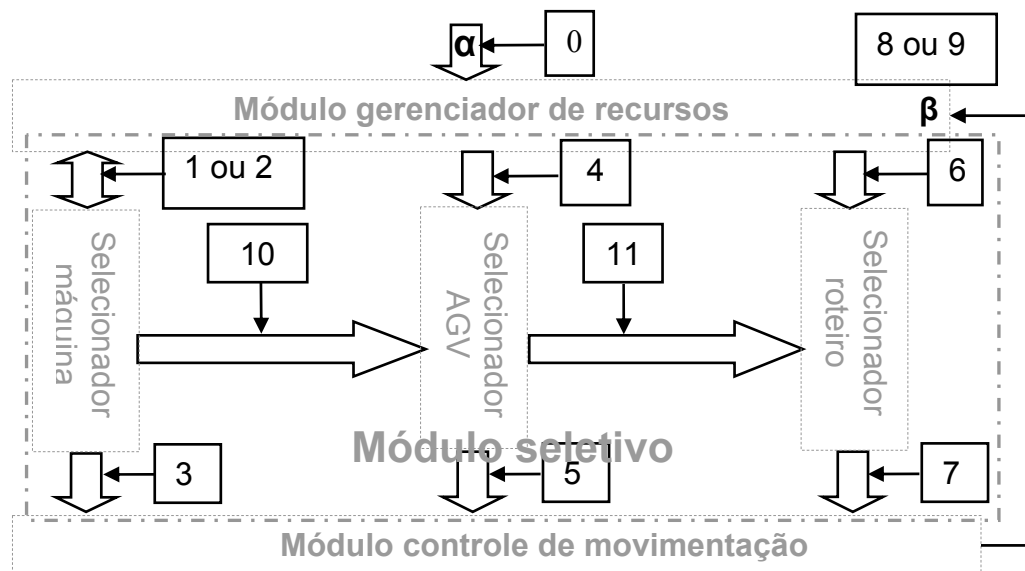
### 5.3.3 Controle de movimentação

A finalidade do bloco **controle de movimentação** é reservar a máquina, o AGV e os roteiros já escolhidos pelos referidos blocos. Em seguida, envia o AGV utilizando o primeiro roteiro escolhido que é o do local do AGV para o local da matéria-prima ou

peça semi-acabada. Utilizando o segundo roteiro, ou seja, do almoxarifado para a máquina, faz o transporte da matéria-prima ou peça semi-acabada iniciando a execução da operação assim que uma delas estiver disponível na máquina. A notificação de que a operação foi iniciada, bem como seu término é então enviada ao bloco **gerenciador de recursos**. Quando finalizadas as operações, o bloco **controle de movimentação** retorna à condição inicial esperando uma nova solicitação do **módulo gerenciador**.

### 5.3.4 Informações trocadas

Apoiando-se na figura 5.1 é apresentada uma nova figura 5.1.1 mostrando as numerações que indicam as informações trocadas entre os módulos conforme abaixo:



**Figura 5.3.1 - Mostrando por onde as informações são trocadas**

- 0 – programação ou seqüenciamento;
- 1 - operação que deve ser feita, máquinas a serem utilizadas e locais;
- 2/3 - máquina escolhida;
- 10/11 – local da máquina escolhida;
- 4/6 - local da matéria-prima ou peça;
- 5 - qual o AGV;
- 11 – local do AGV;
- 7 – quais os roteiros;
- 8 - operação em execução;
- 9 – operação terminada.

No próximo capítulo, com o intuito avaliar a proposta, será apresentado um exemplo prático e detalhado em que as etapas e as informações trocadas são sistematicamente analisadas.

# CAPÍTULO 6

## ***AVALIAÇÃO DA PROPOSTA***

## 6 AVALIAÇÃO DA PROPOSTA

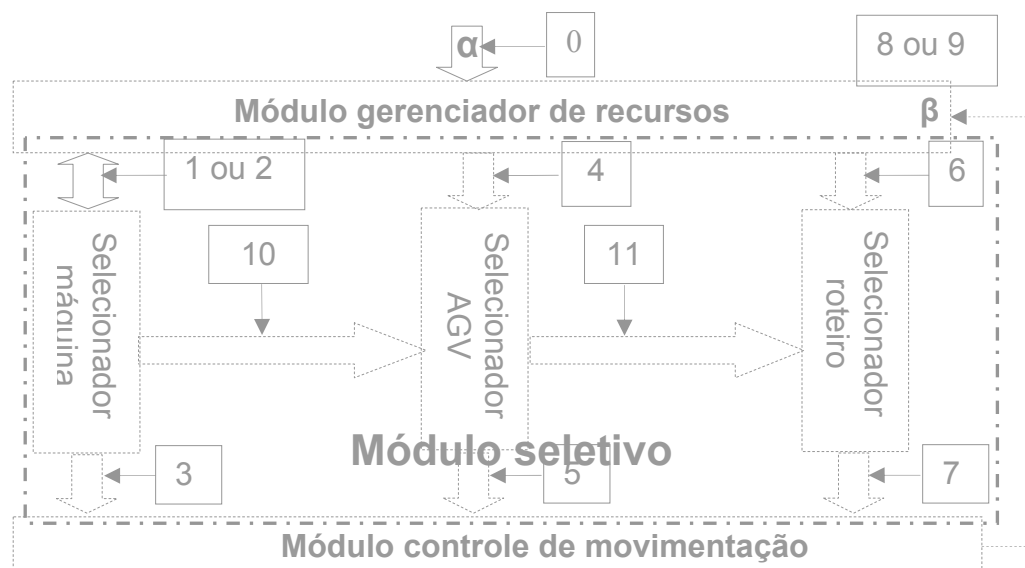
### 6.1 Exemplo prático

Para melhor esclarecimento, segue abaixo um exemplo prático e detalhado das etapas da proposta.

PO peça: 258-55		
Matéria-prima: Aço trefilado 1010/20 Ø 1"		local AB
Operações	Máquina	Local
Facear	Torno 4	DD
	Torno 7	DE
Rebaixo Ø20	Torno 3	DC
	Torno 2	DB
Rasgo 20 x 12	Fresa 2	BD
Furo Ø 8	Furadeira 4	CS

**Figura 6.1 – Plano de operação**

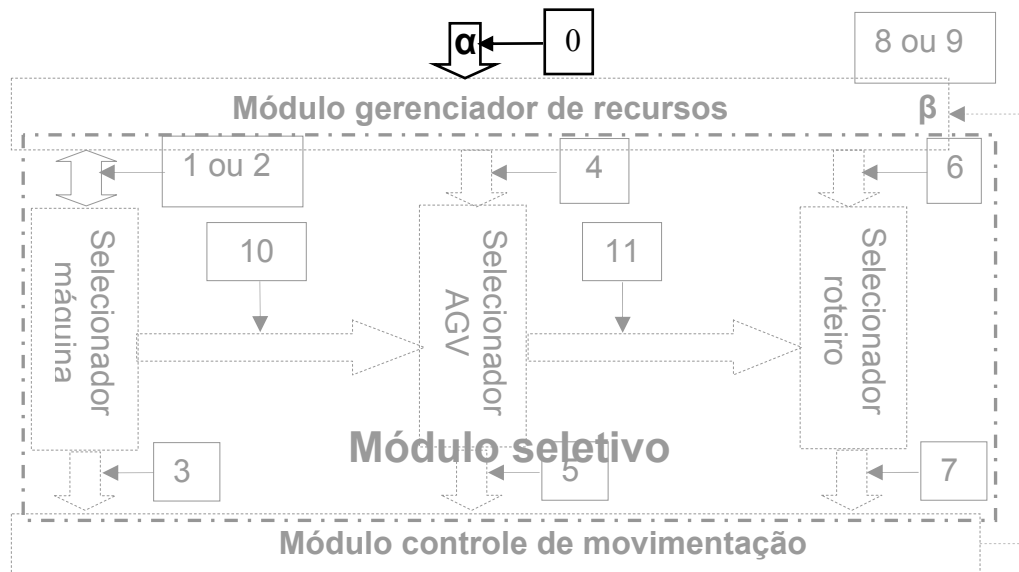
Com o intuito de facilitar a compreensão sobre o fluxo de informações que ocorre entre os módulos e atuação dos mesmos, uma figura, inicialmente, totalmente esmaecida é mostrada (figura 6.1). Conforme as informações e módulos atuam, as partes que os representam tornam-se escuras (figura 6.3 e as demais).



**Figura 6.2 – Figura totalmente esmaecida com módulos e fluxo de informações a serem trocadas.**

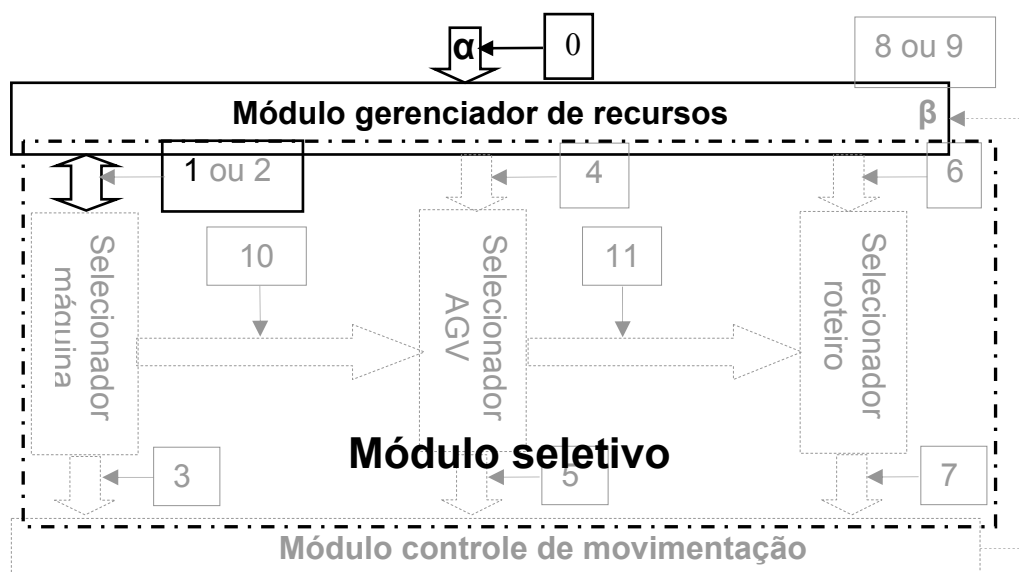
O bloco **gerenciador de recursos** recebe informação do seqüenciamento através da porta  $\alpha$ , a solicitação de usinagem da peça 258-55, conforme plano de

operação ilustrado na figura 6.1. A porta  $\beta$  tem prioridade sobre  $\alpha$ , pois informações vindas por  $\beta$  são dos processos de fabricação em execução no chão de fábrica que, no escopo deste trabalho, tem maior importância. Não havendo nenhuma notificação na porta  $\beta$  a solicitação vinda através de  $\alpha$  é executada. Quando nenhuma mensagem ocorrer nas portas  $\alpha$  e  $\beta$  o sistema do bloco **gerenciador de recursos** fica monitorando até que ocorra uma solicitação por uma das portas (figura 6.3).



**Figura 6.3 – Solicitação de usinagem ao gerenciador de recursos**

O plano de operação é separado, começa então a preparação do trabalho. A operação facear é enviada (1) para o bloco **separador de máquinas** solicitando a escolha, torna 4 ou 7, juntamente com o local destas máquinas, (figura 6.4).

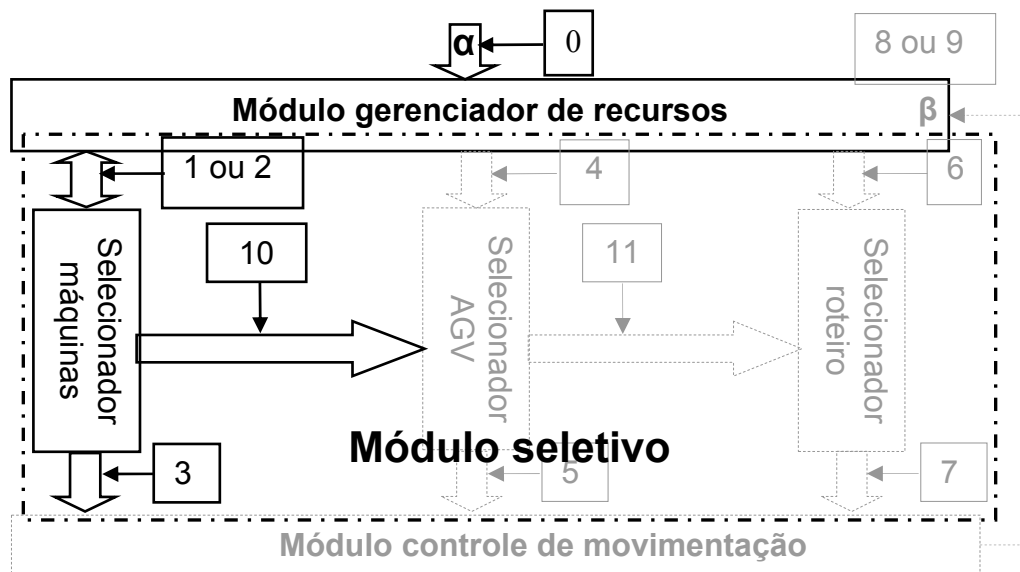


**Figura 6.4 – Solicitação de máquina pelo gerenciador de recursos**



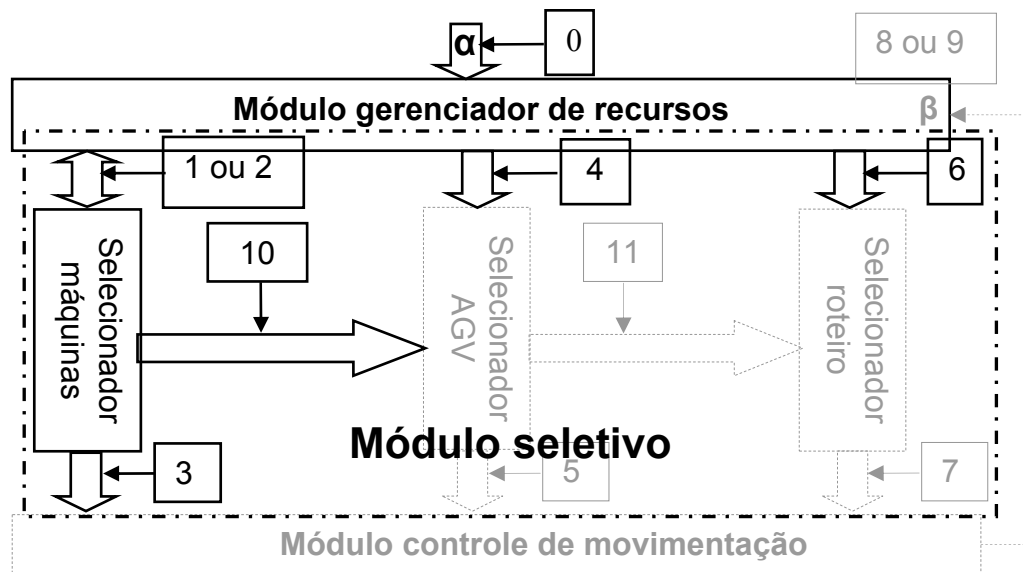
O **selecionador de máquina**, neste caso, opta pela máquina de menor número (a título de exemplo foi usado este processo de escolha, podendo ser qualquer outro) e verifica se a mesma está livre, caso contrário, a de número maior é escolhida e são disparadas três informações.

- Para o bloco **gerenciador de recursos (2)** informando a máquina escolhida,
- Para o **selecionador de AGV (10)** dando ciência do local da máquina escolhida
- Para o **controle de movimentação (3)** informando também a máquina escolhida afim de que a mesma seja reservada (figura 6.5).



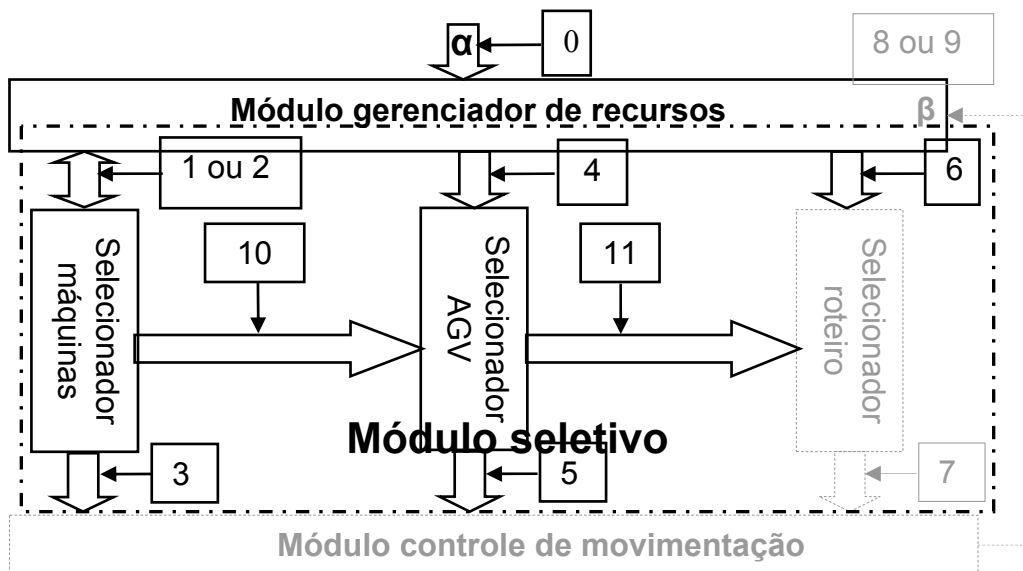
**Figura 6.5 – Seleção de máquina pelo selecionador**

O **gerenciador de recursos** ao receber a comunicação (2), figura 6.6, vinda do bloco **selecionador de máquina**, envia comunicações para dois blocos, **selecionador de AGV (4)** e **selecionador de roteiro de movimentação (6)**, informando em ambas o local da matéria-prima AB, voltando então a monitorar as portas  $\alpha$  e  $\beta$  (figura 6.6).



**Figura 6.6 – Seleção de AGV e roteiro recebem informação**

O **seleccionador de AGV**, recebendo as informações vindas, primeiro do **seleccionador de máquina** (local da máquina escolhida DD) e do **gerenciador de recursos** (local da matéria-prima AB). O AGV mais próximo do local da matéria-prima é escolhido (número B5) (esta escolha, também foi feita a título de exemplo, podendo ser qualquer outra).



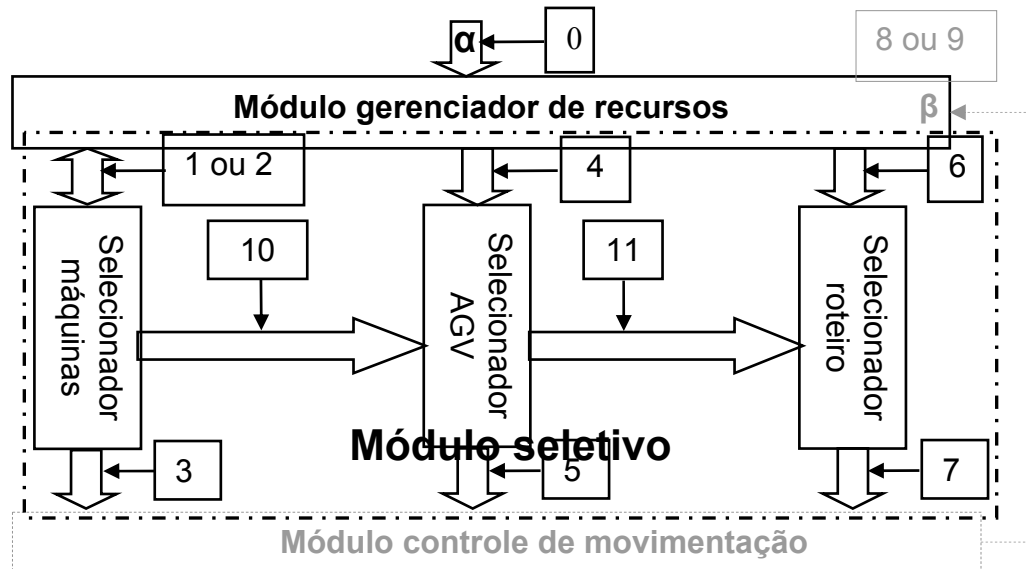
**Figura 6.7 – Bloco escolhe o AGV e passa novas informações**

Comunica aos blocos, **controle de movimentação** (5) informando o AGV escolhido (B5), e o **seleccionador de roteiro** (11) informando os locais da máquina DD e do AGV que é BA, vide figura 6.7.

O **Seleccionador de roteiro**, recebendo comunicações vindas de **gerenciador de recursos** (6) e do bloco **seleccionador de AGV** (11) (figura 6.8) consegue montar os

dois roteiros necessários para levar a matéria-prima até a máquina (torno 4), envia para o **controle de movimentação** (7) as coordenadas dos roteiros que são:

- BA ( local do AGV) para AB (local da matéria-prima);
- AB (local da matéria-prima) para DD (local do torno 4).



**Figura 6.8 – Bloco escolhe o roteiro de movimentação e passa novas informações**

Com as três informações (3), (5) e (7) chegando ao módulo **controle de movimentação** inicia-se o processo operacional do chão de fábrica que é usar máquina, AGV e roteiro já escolhidos pelos seus referidos blocos. Envia o AGV utilizando o primeiro roteiro escolhido que é o do local do AGV para o local da matéria-prima ou peça semi-acabada. Utilizando o segundo roteiro, ou seja, da origem da matéria-prima ou peça semi-acabada para a máquina, faz o transporte iniciando a execução da operação assim que a matéria-prima ou peça semi-acabada estiver disponível na máquina. A notificação de que a operação foi iniciada, bem como seu término é então enviada ao bloco **gerenciador de recursos** (8). Quando finalizadas as operações, o bloco **controlador de movimentação** (9) retorna à condição inicial aguardando uma nova solicitação dos **módulos gerenciador de recursos e seletivo** (figura 6.9).

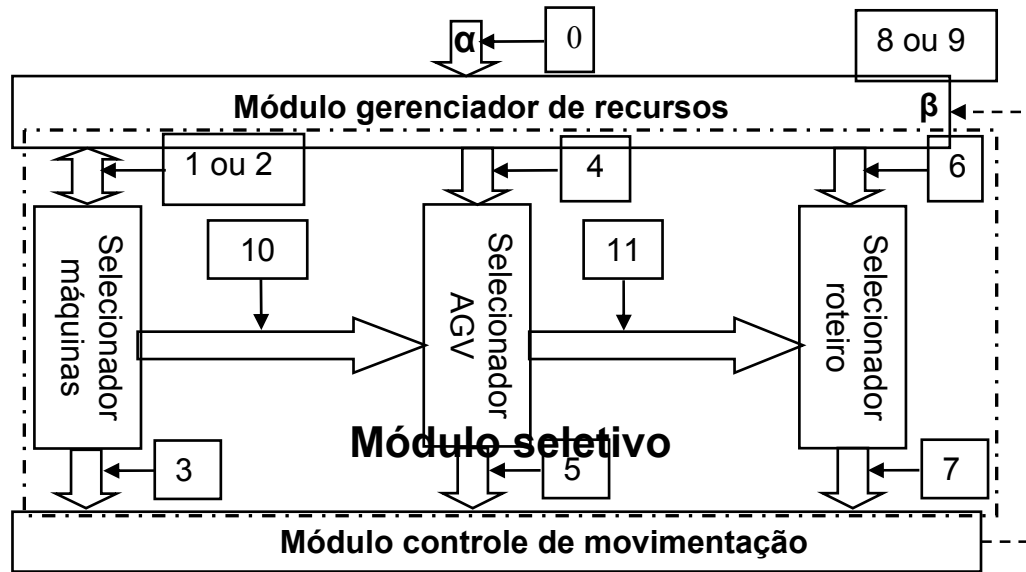


Figura 6.9 – Bloco controle de movimentação dá início a produção

## 6.2 Conclusão acerca da avaliação

Ao fim deste capítulo pode-se verificar o fluxo das informações e o momento em que elas ocorrem.

**CAPÍTULO 7**  
***CONCLUSÃO E POSSÍVEIS***  
***DESDOBRAMENTOS***

## **7. CONCLUSÕES E POSSÍVEIS DESDOBRAMENTOS**

Este trabalho propõe uma arquitetura de controle híbrida para sistemas flexíveis de manufatura, motivado, entre outros aspectos, pela complexidade e importância deste para sistemas automáticos de manufatura e por ser motivo de estudo desse grupo de pesquisa.

Foi decomposta em módulos, com finalidades específicas, como, gerenciador de recursos, seletivo e controle de movimentação, expondo toda a comunicação que ocorre, como também, em que momento, entre eles, além de facilitar a implementação e testes de trabalhos já elaborados ou que venham a sê-lo.

A proposta levou em conta a possibilidade, em certos casos, de utilização da estratégia da manufatura, com o intuito de contemplar o uso, quando necessário, de sistemas holônicos de manufatura.

Devido ao tempo necessário para o controlador (central ou de tarefa) criar e designar as tarefas de transporte e também o tempo que o AGV nomeado necessita para se deslocar ao seu destino a máquina pode ficar ociosa durante certo tempo. Conseqüentemente o recurso de trabalho da máquina pode ser perdido e a produtividade do sistema ficar diminuída globalmente. Porém não é escopo deste trabalho, a otimização de recursos e sim como eles fluem ao longo do sistema, logo não será motivo de preocupação a resolução do problema acima descrito, nem tão pouco outros de semelhante enfoque.

### **7.1 Análise de desempenho**

Por tratar-se da formalização da seqüência de tomada de decisão, em nível de chão de fábrica, é importante observar que esta proposição é um arcabouço modular e como tal, em cada um dos módulos podem ser embarcados quaisquer sistemas, simples ou sofisticados, desde que atendam à especificação do referido módulo. Em outras palavras, se o selecionador de máquinas contar com um sistema de escolha simples funcionará adequado àquele sistema que estiver sendo usado para a execução dessa tarefa. Portanto, toda a sofisticação ou não, que o modelo proposto tiver para a execução das tarefas, dependerá, exclusivamente, da tecnologia utilizada pelos sistemas embarcados.

## 7.2 Possíveis desdobramentos

Para trabalhos futuros, é possível a incorporação de novas características como os sistemas holônicos, multi-agente, etc.

Os sistemas multi-agente poderão ser empregados no módulo selecionador de AGV, conferindo-lhe uma condução mais facilmente à realização do objetivo, devido à interação de processos, como na abordagem empregada por Aoki (AOKI, A.R. et.al., 2001).

Outra possibilidade estaria no emprego de sistemas holônicos no módulo gerenciador de recursos, focado no atendimento a prazo, que é um item da estratégia de manufatura.

***FONTES BIBLIOGRÁFICAS***



**FONTES BIBLIOGRÁFICAS**

- AOKI, A.R., et. al. , Sistema multi-agente para o atendimento de ocorrência na rede de distribuição de energia elétrica. **VI Simpósio brasileiro de automação inteligente**, Bauru, SP. , 2003.
- AOKI, A.R., et. al., Multi-agent model for power system simulation. **Proceedings of WSES International Conference on simulation, word scientific and engineering society press**, pp 2531-2535, 2001.
- AUSFELDER, C.; CASTELAIN, E.; GENTINA, J.C., A method for hierarchical modeling of the command of flexible manufacturing systems. **IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics**. Vol. 24 n°. 4, 1994.
- BALASUBRAMANIAN, S.; ZHANG, X.; NORRIE, D.H., Intelligent control for holonic manufacturing systems. **Proc Instn Mech Engrs**. Vol. 214 part B, 2000.
- BEM-AREH, D. H. ; MOODIE, C. L. ; CHU, C. C, Control methodology for FMS. **IEEE Journal of robotics and automation**, vol. 4, n° 1, 1988.
- BEN-ARIEH, D.H.; MOODIE,C.L.;CHU,C.C., Control methodology for FMS, **IEEE Journal of robotics and automation**, vol. 4 n° 1,1988.
- BENINCASA, A.X. **Um modelo de sistema fuzzy para despacho de veículos autoguiados em manufatura integrada**. 2003. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Departamento de Computação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- BLACK, J.T. **O projeto da fábrica com futuro**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman. 1998. 288 p.
- BONGAERTS, L., et. al., Hierarchy in distributed shop floor control, **Computers in industry**, vol. 43, pp123-137, 2000.
- CARVALHO, V.C., **Um modelo de seqüenciamento da produção para um sistema de apoio à decisão**. 2003. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Departamento de Computação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

- CHENG, FAN-TIEN; CHANG, CHIH-FENG; WU, SHANG-LUN, Development of holonic manufacturing execution systems. **Journal of manufacturing**. Vol 15, pp 253-267, 2004.
- CHOI, K.H. ; KIM, S.C. ; YOON, S. H. , Multi-Agent hybrid for shop floor control system. **International journal of production research**, vol. 38, nº 17 pp 4193-4203, 2000.
- COLMANETTI, M. S. **Modelagem de sistemas de manufatura orientada pelo custeio das atividades e processos**. 2001,122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- DESHMUKH, A.V. , et. al., Comparison of centralized and distributed policies for manufacturing system. **Proceeding of the fourth industrial engineering research conference**. Nashville. TN. , pp 744-748, 1995.
- DILTS, J.; BOYD, N.P.; WHORMS,H.H., The evolution of control architectures for automated manufacturing systems, **Journal of manufacturing systems**, Vol. 10 nº1, 1991.
- DIXON, J.R., Measuring manufacturing flexibility: an empirical investigation. **European journal of operational research**. Vol.60, pp.131-143, 1992.
- DUPAS, M.A. **Pesquisando e normalizando. Série apontamentos**. São Carlos: Edufscar, 2002. 73 p.
- FERREIRA, F.F. A integração dos sistemas computadorizados no CCP – **Centro de CIM do Porto. In: I Jornadas de Automatização do Processo de Maquinagem**. Porto. 1998. Portugal. 16 p.
- FIGUEIREDO, L. C.; JOTA, F.G. Introdução ao controle de sistemas não-holônicos. **Sba Controles & Automação**, July/Sept. 2004, vol. 15, nº. 3, p.243-268. ISSN 0103-1759.
- FIORONI, M.M.; BATOCCHIO, A. Arquitetura dos sistemas de manufatura. **In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**. Natal: 2000 anais. Rio Grande do Norte. 591 p, cap. 12.

- FLETCHER, M. ; BRENNAN, R.W.; NORRIE, D.H., Modeling and reconfiguring intelligent holonic manufacturing systems with internet-based mobile agents. **Journal of intelligent manufacturing**. Vol 14 pp14-7-23, 2003.
- GAITHER, N; FRAZIER, G., **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira, 2001. 598 p.
- GERTOSIO, C.; MEBARKI, N.; DUSSAUCHOY, A., Modeling and simulation of the control framework on a flexible manufacturing system. **Int. J. production economics**. Vol. 64, pp. 285-293, 2000.
- GROOVER, M. P., **Automation, production systems, and computer integrated manufacturing**. 2. ed.. New Jersey: Prentice Hall. 2000. 856 p.
- GUPTA, Y.P.; GOYAL, S., Flexibility of manufacturing systems: concepts and measurements. **European journal of operational research**. Vol.43, pp.435-440, 1989.
- INAMASU, R. Y., **Modelo de FMS: Uma plataforma para simulação e planejamento**. 1995.134 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- KATO, E.R.R., ET. AL., A control design approach for complex automatic manufacturing systems. **Proceeding of the SMC 2001, IEEE, International conf. on systems, man and cybernetics**, pp. 2475-2480, Tucson, USA, 2001.
- KATO, E.R.R.; MORANDIN JUNIOR, O.; POLITANO, P.R.; CAMARGO, H.A.; ZAMPRONIO, J., Production planning system base don simulation: finding the best plant stocking policy. **Proceeding of the INDUSCON – IEEE – Industry applications society**, pp 435-440 Porto Alegre, RS, 2000.
- KEUNG, K.W.; IP, W.H.; YUEN, D., An intelligent hierarchical workstation control model for FMS. **Journal of materials processing technology**. Vol. 139 pp. 134-139, 2003.

- KOTAK, D., et. al, Comparison of hierarchical and holonic shop floor control using a virtual manufacturing environment. **IEEE Journal of robotics and automation**, vol. 6, nº 2, pp 1667-1672, 2000.
- KOUISS, K.; PIERREVAL, H. ; MEBARK, N. , Using multi-agent architecture in FMS for dynamic scheduling. **Journal of intelligent manufacturing**, vol. 8, pp 41-44, 1997.
- MATHEWS, J. Organizational foundations of intelligent manufacturing systems- the holonic viewpoint. **Computer integrated manufacturing systems**. Vol 8 Nº 4 pp237-243, 1995.
- MCDONNELL, P.; JOSHI,S.B. , The intelligent hierarchy: A framework for distributed shop floor control. **Fourth Industrial engineering research conference**. Nashville, TN. , pp 808-816, 1995.
- MORANDIN JUNIOR, O. **Metodologia de modelagem de sistemas automatizados de manufatura, utilizando rede de Petri virtual**. 1999.139 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- MOREIRA, D.A. **Administração da produção e operações**. 1. ed. São Paulo: Pioneira, 1996a. 619 p.
- MOREIRA, D.A. **Dimensões do desempenho em manufatura e serviços**. 1. ed. São Paulo Pioneira, 1996b. 111 p.
- MÜLLER, J., Architectures and applications of intelligent agents: a survey. **Knowledge Eng. Rev.** Vol 13, nº 4, 1998.
- ODREY, N.G.; MEJÍA, G., A re-configurable multi-agent system architecture for error recovery in production systems. **Robotics and computer integrated manufacturing**. Vol 19, pp 35-43, 2003.
- OU-YANG, C. ; LIN, J.S., The development of a hybrid hierarchical/ heterarchical shop floor system applying bidding method in job dispatching. **Robotics and computer-integrated manufacturing**. Vol 14 pp 199-217, 1998.

- PANDIT, S.; SOMAN, S.A.; KHAPARDE, S.A., Object-Oriented network topology processor. **IEEE Computer applications in power**, vol.14, pp 42-46, 2001.
- RAMIREZ, A.; MURO, P.; SILVA, M., Modular composition of intelligent control policies for FMS models. **IEEE, proceedings of the 1993 international symposium on intelligent control**, Chicago, USA, 1993.
- RAMOREZ, A. ; MURO, P. ; SILVA,M., Modular composition of intelligent control policies for FMS models. **Proceeding, of the 1993 international Symposium on intelligent control**. Chicago, USA, 1993.
- RAMOS, C., A holonic approach for task scheduling in manufacturing systems. **Proceedings of the 1996 IEEE International conference on robotics and automation**, Minneapolis, 1996.
- RÁNKY, P.G. **The design and operations of FMS**. 1ª ed. Bedford: IFS, 1983. 343 p.
- SLACK, N. et al. **Administração da produção**. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 1997. 747 p.
- SLACK, N. **Vantagem Competitiva em Manufatura**. 2ª ed. São Paulo: Atlas. pp 218, 2002.
- SOUSA, P.; RAMOS, C., A distributed architecture and negotiation protocol for scheduling in manufacturing systems. **Computers in industry**. Vol 38, pp103-113, 1999.
- TEMPELMEIER, H.; KUHN, H., **Flexible manufacturing systems**, John Wiley and sons, 1993.
- TORRICO, C.R.C.; CURY, J.E.R., Controle supervisorio hierárquico modular por agregação de estados. **Revista controle & automação**. Vol 15 , nº 3, 2004.
- TUBINO, D.F. **Manual de planejamento e controle da produção**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2000. 224 p.
- VALKENAERS,P., et.al., Results of the holonic control system benchmark at the KU Leuven, in: **Proceedings of the CIMAT conference (Computer**

**Integrated Manufacturing and Automation Technology**), Troy, NY, Rensselaer Polytechnic Institute, pp 128-133, 1994.

WAZLAWICK, R.S. et.al. **Ambientes para Programação de Sistemas Multi-Agente, Laboratório de Sistemas de Conhecimento** – LSC Departamento de Informática e de Estatística Centro Tecnológico Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.