

ARQUITETURA DOS SISTEMAS DE MANUFATURA

Eng. Marcelo Moretti Fioroni¹

Prof. Dr. Antônio Batocchio²

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Fabricação, Caixa Postal 6122, CEP: 13083-970, Campinas/SP, Brasil;
Fone: (019) 788-3290; FAX: (019) 289-3722. E-mail: mfioroni@mii.zaz.com.br¹, batocchi@fem.unicamp.br²

Resumo

A comunidade acadêmica e industrial vem obtendo resultados expressivos no desenvolvimento dos sistemas de manufatura, em uma busca constante para satisfazer os crescentes anseios do público consumidor. Propostas como o Sistema Ágil e o Sistema Holônico, buscam conjugar grande personalização de produtos com boa velocidade de resposta e baixo custo. O sistema Ágil engloba várias tecnologias, como agentes inteligentes na manufatura, algoritmos genéticos e inteligência artificial. Já os Sistemas Holônicos buscam atingir um novo patamar de flexibilidade e agilidade, trabalhando com uma organização semelhante à encontrada nos sistemas orgânicos, onde as células se apresentam como estruturas estáveis e auto-suficientes, que se agrupam formando estruturas maiores, os tecidos, de estabilidade equivalente. Na mesma velocidade em que avançam a tecnologia e os sistemas de manufatura, novas arquiteturas para estes sistemas são rapidamente criadas. O presente artigo reúne as propostas mais recentes ou relevantes e discute suas características, tecendo uma comparação entre elas e oferecendo uma visão abrangente. Indica também as tendências atualmente perceptíveis na proposição de novas arquiteturas capazes de atender à manufatura do próximo milênio.

Palavras-chave: Sistemas de Manufatura, Arquitetura dos Sistemas de Manufatura, Manufatura Ágil, Sistema Holônico de Manufatura

1. INTRODUÇÃO

É fato notório que a globalização está impondo novas exigências de produção para as empresas. O mercado está cada vez mais exigente quanto à qualidade dos produtos e exige também uma crescente personalização. Cada consumidor deseja que o produto esteja adaptado às suas próprias necessidades. Neste ambiente, a inovação deixa de ser algo apenas desejável para tornar-se regra. As conseqüências disto para a indústria é que seus sistemas de manufatura precisam ser capazes de fabricar produtos personalizados, em lotes pequenos, rapidamente, a um baixo custo e mantendo os níveis de qualidade. Para conseguir tal resultado, novos sistemas de manufatura tem sido propostos pelas instituições de pesquisa com o apoio da indústria.

Cada vez mais automatizados, os sistemas de manufatura atuais lançam mão do que há de mais avançado em termos de tecnologia, fazendo uso intensivo de computadores, redes de comunicação e procedimentos robotizados. A arquitetura dos sistemas de manufatura reflete fielmente as características do mercado atendido por ele. Um exemplo disso é o modelo de

linha de produção criado por Henry Ford para a fabricação do “Ford T”, cujo objetivo era produzir o mais rapidamente possível, para um mercado que não se importava com a personalização e onde havia grande demanda pelo produto (automóvel).

Neste trabalho, pretende-se mostrar uma retrospectiva sobre a arquitetura dos sistemas de manufatura até os tempos atuais, acompanhando seu gradativo avanço na busca constante de atender à sociedade de consumo da época. Nota-se claramente que a tarefa de atender ao mercado foi ficando cada vez mais complexa e árdua, exigindo um desenvolvimento crescente de novos sistemas. Nos tempos atuais, onde o mercado atingiu níveis de exigência nunca vistos antes, a comunidade científica e empresarial se desdobra para criar sistemas de manufatura capazes de atender a demanda atual e futura. Para enfrentar este grande desafio algumas iniciativas tem sido criadas, como o IMS - Intelligent Manufacturing Systems Consortium (IMS, 1999), que pretende criar o estado da arte em sistemas de manufatura. Apresenta-se aqui algumas propostas já elaboradas para estes sistemas e suas respectivas arquiteturas, como os sistemas de manufatura ágil e o sistema holônico de manufatura, uma das propostas do supracitado IMS, e que se encontra atualmente em estudo no Brasil pelo GPHMS – Grupo de Pesquisa em Sistema Holônico de Manufatura, sediado na Unicamp (Batocchio & Fioroni, 1999).

2. DEFINIÇÃO DE ARQUITETURA PARA SISTEMAS DE MANUFATURA

Conforme explicado por Wyns *et al.*(1996) a arquitetura de um sistema de manufatura é o resultado do projeto do sistema, onde são especificadas as funções dos componentes, suas interfaces, interações e restrições. Tem por objetivo descrever de forma resumida toda a complexidade dinâmica de um sistema através de modelos simples. Entre as vantagens da definição de uma arquitetura, cita-se (Wyns, 1996):

- Fornecendo uma abstração do sistema complexo de forma simples, a arquitetura auxilia o projetista a definir as interfaces e interações entre os diversos componentes;
- Quando é necessária uma alteração no processo, reduz-se o impacto das mudanças pela possibilidade de focalizar apenas as áreas que necessitam de maiores mudanças;
- A arquitetura indica os componentes vitais para o sistema, os quais não deverão ser alterados quando da adaptação deste sistema para novos usos, caso em que se estaria aplicando uma arquitetura diferente. Comparando com a arquitetura de edificações, seria como mudar as paredes de sustentação de uma casa;
- A arquitetura é um meio de comunicação importante durante o processo de projetar ou reprojeter o sistema, fornecendo base para discussões entre as partes envolvidas.

À semelhança da arquitetura de edificações, a arquitetura de sistemas de manufatura também pode ser apresentada de várias maneiras. No caso de um prédio, sua arquitetura é apresentada aos clientes na forma de uma maquete, mas quando apresentada à construtora, são fornecidas várias outras informações, como materiais utilizados, locais de passagem de fios, etc. Assim, de uma arquitetura de sistema de manufatura, espera-se conseguir:

- Uma terminologia unificada, sem ambigüidades e conhecida por todos os envolvidos;
- Simplicidade no projeto do sistema, permitindo um desenvolvimento fácil e rápido da sua arquitetura;
- Maior qualidade no desenvolvimento dos sistemas, por se basearem em conceitos confiáveis, já comprovados pela arquitetura;
- Interfaceamento e a possibilidade de reaproveitamento de módulos da arquitetura em diferentes projetos ou gerações de sistemas;
- Desenvolvimento ou implementação de tarefas que podem ser divididas entre diferentes times, permitindo que cada um aplique suas melhores especialidades ou equipamentos;

- Fácil identificação das soluções utilizadas. A arquitetura precisa indicar e justificar claramente quando e como cada estágio do desenvolvimento recebeu implementações de engenharia.

A arquitetura de um sistema pode ser formulada no estilo descritivo ou prescritivo. O estilo descritivo define uma codificação particular dos elementos de projeto e é usado durante as discussões entre o projetista e o cliente. O estilo prescritivo se limita a apresentar os elementos e suas configurações. Este estilo é aquele usado nos planos de construção de um edifício, nos quais o construtor se baseia para realizar seu trabalho.

Neste estudo, as arquiteturas são apresentadas no estilo descritivo, de modo a permitir seu fácil entendimento e viabilizar sua abordagem neste estudo.

3. OS SISTEMAS DE MANUFATURA PROPOSTOS ATÉ A ATUALIDADE

Os sistemas de fabricação existem desde os primórdios da humanidade, quando o homem começou a perceber que poderia realizar melhor suas tarefas com o auxílio de instrumentos. Prova disso é a descoberta arqueológica de uma "fábrica" de ferramentas no Quênia com a idade de 2,34 milhões de anos, conforme noticiado na Folha de São Paulo (1999). O homem evoluiu muito desde então, e a busca por melhores meios de realizar seus trabalhos permaneceu.

3.1 O Sistema Funcional

Um dos primeiros sistemas de fabricação elaborados foi o chamado "Sistema Funcional", onde os recursos fabris da empresa com a mesma função são agrupados em setores. Desta forma, a matéria prima é transportada em lotes ao longo dos diferentes setores, onde sofre operações específicas em cada um deles. É caracterizado pela sua grande flexibilidade, já que qualquer operação pode ser feita em qualquer ordem. Também é pouco suscetível a paradas de produção devido a quebras de máquinas, e o seu agrupamento facilita o treinamento da mão de obra. O sistema funcional apresenta tempo de fabricação longo, dificuldade na manutenção da qualidade do produto e no gerenciamento do sistema, que se torna muito complexo. Uma grande quantidade de estoque intermediário é necessário para o seu funcionamento, o que exige um investimento considerável (Batocchio, 1992).

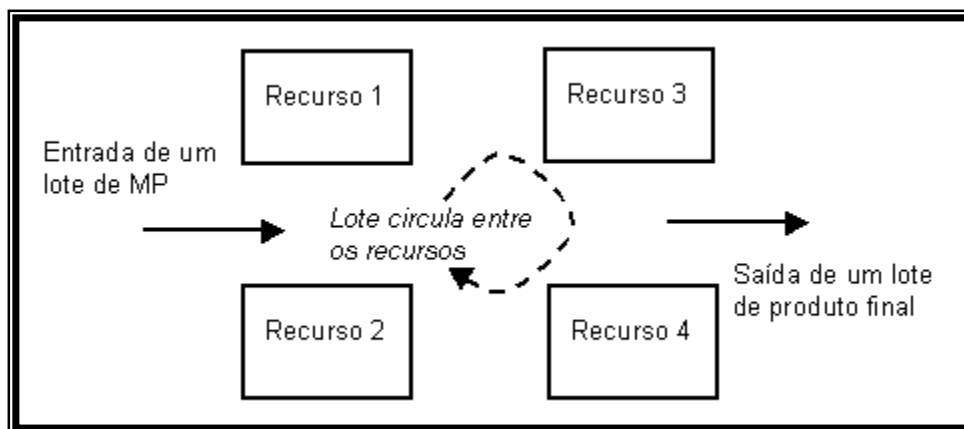


Figura 1. Funcionamento de um Sistema Funcional

Trata-se do sistema adequado para a fabricação de lotes pequenos, e prazos de entrega curtos. É o sistema ideal quando os produtos a serem fabricados são muito diversificados, ou são alterados freqüentemente. A Figura 1 apresenta esquematicamente o funcionamento deste

sistema, onde os recursos representam uma ou mais máquinas de mesmo tipo ou pessoas, onde ocorre uma das etapas de fabricação

3.2 Sistema em Linha

Quando os produtos a serem fabricados tem pequena variação e exigem muitas operações, surgem empecilhos para a fabricação pelo sistema funcional. Para este caso, foi desenvolvido o sistema de fabricação em linha, no qual os diferentes equipamentos permanecem dispostos na seqüência das operações exigidas para a fabricação do produto. Desta forma, obtêm-se uma boa velocidade de fabricação, permitindo atender rapidamente aos pedidos para grandes quantidades (Batocchio, 1992).

Os pontos fracos deste sistema residem na sua grande sensibilidade a problemas na linha. Uma máquina quebrada pode interromper completamente a produção. Outro ponto negativo é a sua baixa flexibilidade e alto custo de implantação, que o tornam aplicável apenas quando a empresa possui vários produtos similares com tempo de vida alto. A representação esquemática deste sistema é apresentada na Figura 2.

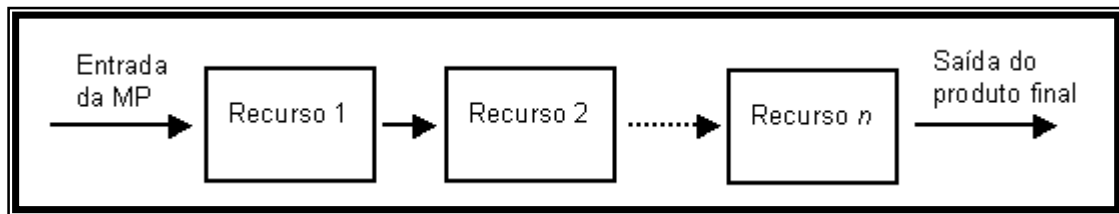


Figura 2. Funcionamento de um Sistema em Linha

3.3 Sistema Celular

O sistema celular destina-se à fabricação de peças que tenham certa similaridade, em lotes pequenos. Caracteriza-se pelo agrupamento de todas as máquinas usadas para a fabricação de um determinado "grupo" ou "família" de peças, as quais sofrem operações em todas ou algumas destas máquinas. O agrupamento de máquinas é chamado "célula" (Batocchio, 1992).

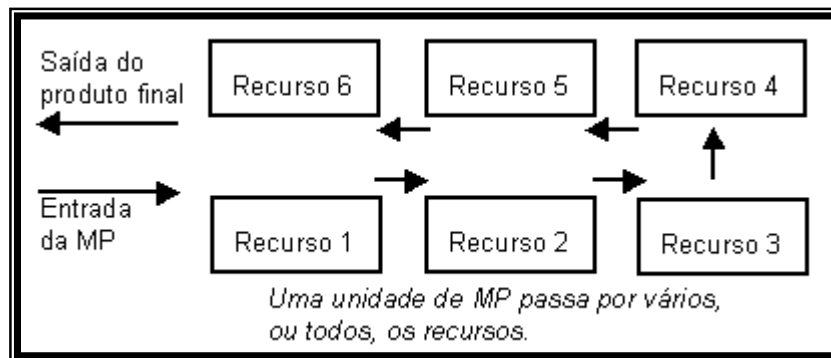


Figura 3. Funcionamento de um Sistema Celular

O sistema celular apresenta as vantagens de reduzir os estoques intermediários, permitir a fabricação de lotes pequenos, aproveitamento ótimo da mão de obra e equipamentos, e permitir a manutenção de altos níveis de qualidade. Suas desvantagens ficam por conta de sua também grande sensibilidade a imprevistos como quebras de máquina, paradas para manutenção, ou acontecimentos semelhantes; flexibilidade relativamente baixa, pois se

houver uma variação muito grande no desenho da peça a ser fabricada, a célula passa a não mais ser capaz de produzi-la, seja pela ausência de uma determinada máquina, ou um processo que passa a ser muito demorado, prejudicando a fabricação das outras peças do grupo. A Figura 3 ilustra o funcionamento de um sistema celular. A matéria-prima, em seu processo de fabricação, passa por várias ou todas as máquinas. Este sistema é aplicado atualmente na “manufatura enxuta” (Lean Manufacturing), principalmente quando o produto é pequeno e manipulável por operadores.

3.4 FMS – Sistemas de Manufatura Flexível

O avanço da tecnologia, que proporcionou novos recursos fabris como robôs, centros de usinagem automatizados e etc. O conceito de FMS envolve um alto nível de automação, onde a fabricação é realizada por centros de usinagem multifuncionais e robôs dotados de ferramentas. A transferência entre as máquinas é feita por veículos robotizados (AGVs) e o posicionamento/setup das máquinas é realizado por robôs manipuladores ou similares. A matéria prima, produtos acabados, ferramentas a até produtos em estágio intermediário são armazenados em um armazém automatizado. Todos estes elementos são ligados a um computador central que coordena todas as ações e recebe ordens de fabricação diretamente do escritório central (Asai & Takashima, 1994).

Desta forma, a produção segue rigorosamente as tendências detectadas pela pesquisa de mercado e é capaz de mudar rapidamente, passando a fabricar um produto diferente. Isto caracteriza sua flexibilidade. A Figura 5 mostra um esquema do funcionamento de um sistema FMS.

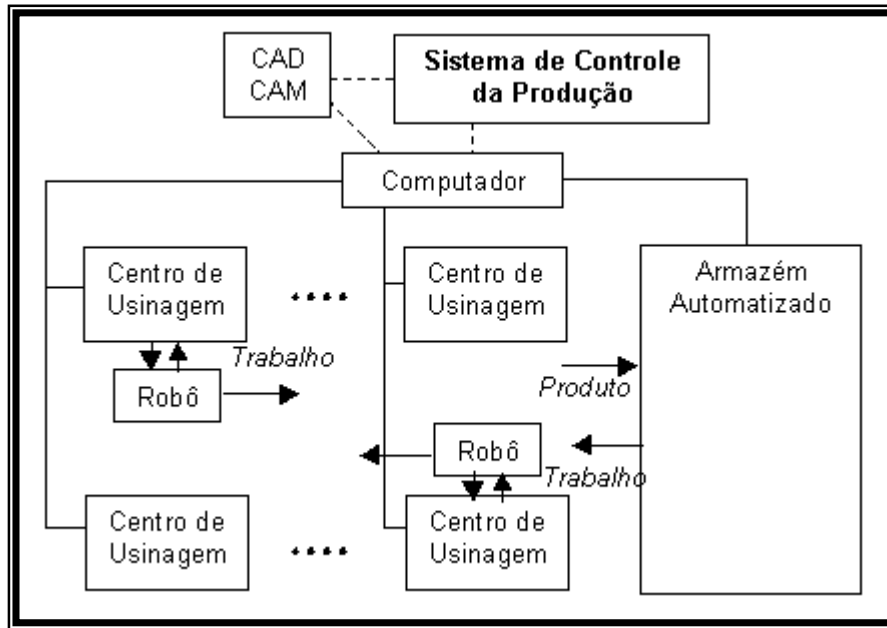


Figura 5. Funcionamento de um sistema FMS (Asai & Takashima, 1994)

3.5 CIM – Manufatura Integrada por Computador

Com o avanço em constante aceleração da informática e a disponibilidade cada vez maior dos computadores, estes começaram a encontrar aplicação nas empresas. O desenvolvimento de softwares para CAE, CAD/CAM acelerou ainda mais este processo.

O uso dos computadores permitiu uma maior integração entre os diversos departamentos das empresas através de redes informatizadas. Otimizou processos e permitiu um

gerenciamento mais eficiente dos recursos da empresa. Segundo Asai & Takashima (1994), existem dois tipos de CIM:

- “CIM in series”, que descreve uma aplicação vertical dos computadores, cobrindo operações de pesquisa de mercado, planejamento de produto e projeto, planejamento da produção e controle, teste e distribuição;
- “Cross CIM”, que descreve uma aplicação horizontal dos computadores, que se constitui em ligações bidirecionais entre todas as fábricas e unidades da empresa com o escritório central automatizado, que centraliza as informações e decisões.

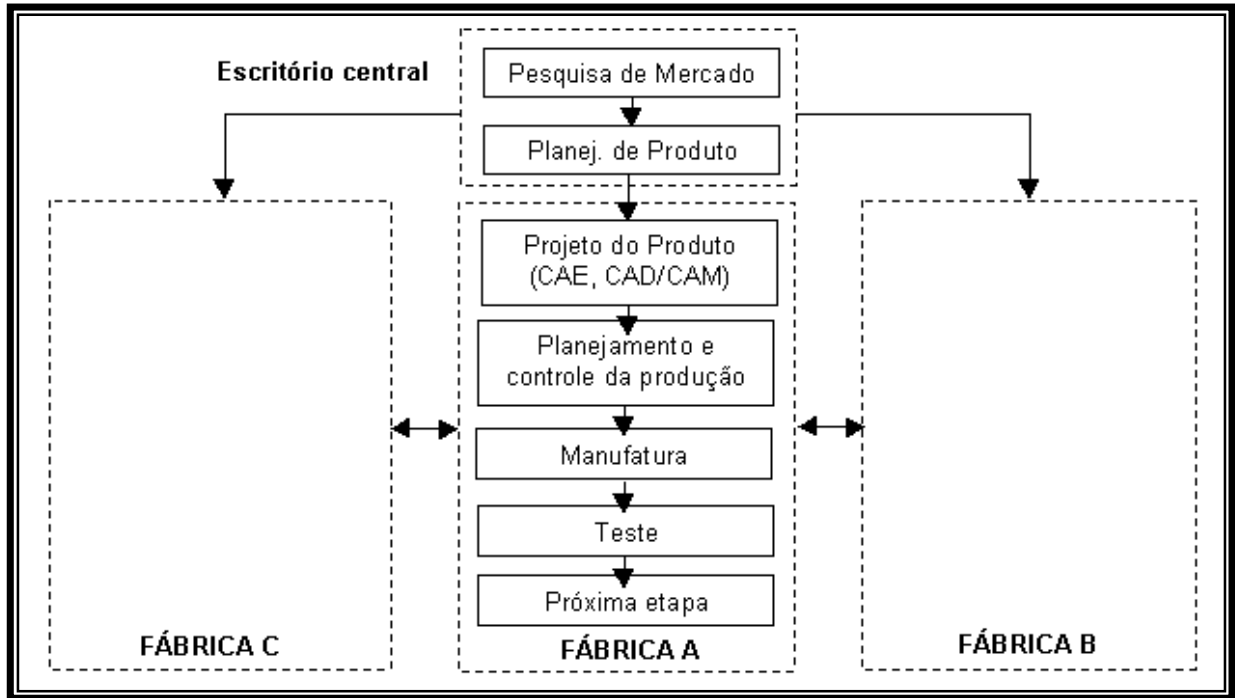


Figura 4. Funcionamento de um sistema CIM (Asai & Takashima, 1994)

A Figura 4 apresenta um diagrama do funcionamento de uma empresa utilizando o CIM. O escritório central coordena as ações das fábricas, de acordo com as tendências detectadas pela pesquisa de mercado.

4. AS PROPOSTAS PARA O PRÓXIMO SÉCULO

Na busca pelo sistema de manufatura capaz de atender aos crescentes anseios do mercado, novos sistemas tem sido desenvolvidos ou propostos. A grande variedade de propostas torna inviável a apresentação de todas neste espaço. Devido a isto, apresenta-se a proposta mais “amadurecida” e já aplicada em algumas empresas, que é o Sistema de Manufatura Ágil, e uma das propostas mais promissoras para o próximo século, que é o Sistema Holônico de Manufatura.

4.1 Sistema de Manufatura Ágil

O conceito de Manufatura Ágil é bastante abrangente e envolve todos os aspectos da empresa. A estrutura da manufatura Ágil é suportada por três recursos principais: gerenciamento inovador de organizações, recursos humanos altamente capacitados e com poder de decisão, e tecnologias inteligentes e flexíveis (Kidd, 1995). A agilidade é alcançada através da integração destes três recursos em um sistema coordenado e independente. Em

termos simples, a manufatura ágil pode ser considerada como a integração entre a organização, pessoal altamente capacitado e tecnologias avançadas, visando alcançar cooperação e inovação para fornecer aos seus clientes produtos personalizados e de alta qualidade. Este conceito é ilustrado na Figura 6.

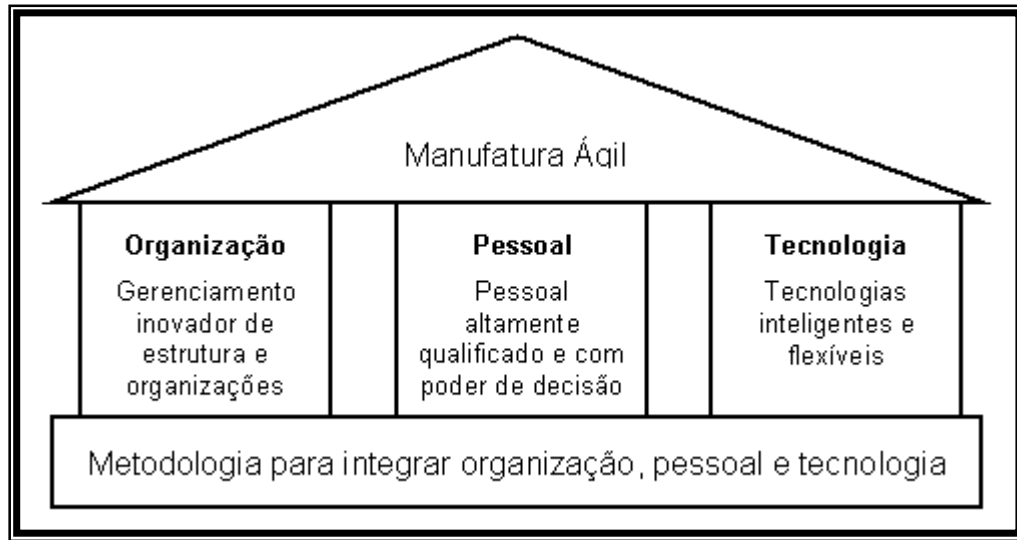


Figura 6. Estrutura da manufatura Ágil (Kidd, 1994)

Outra definição de manufatura Ágil é fornecida por Wandmacher (1994): “A habilidade de prosperar em um ambiente de contínua e inflexível mudança”. Os “três recursos” citados por Kidd (1994) tem sido desenvolvidos separadamente para atingir o conceito de agilidade, e várias empresas os tem aplicado com sucesso. Atualmente, a maioria das empresas de tecnologia aplicam o conceito de Manufatura Ágil. No Brasil existem exemplos bastante claros entre as empresas provedoras de acesso e serviços para Internet. Neste mercado o ambiente de mudanças é evidente. No início, o serviço era cobrado por um número fixo de horas, cujo excesso incidia em taxas maiores. Logo a seguir veio o acesso ilimitado, onde o cliente não tinha mais limite de horas pagando um preço fixo. O ponto culminante foi o acesso gratuito, onde simplesmente não há mais cobrança do serviço de acesso. Tudo isso em um espaço de apenas 7 anos.

4.2 Sistema Holônico de Manufatura

O HMS – Holonic Manufacturing System é um dos temas em estudo pelo IMS (1999). Trata-se de um sistema que busca atingir a estabilidade e capacidade de reação encontrada nos sistemas orgânicos e sociais. É baseado nas observações do filósofo alemão Arthur Koestler, que propôs a palavra “holon” como a representação de uma estrutura que é independente e estável, mas é parte integrante de uma estrutura maior, também estável e independente, como as células orgânicas que se unem, formando os tecidos (Wyns, 1996).

Uma arquitetura de referência foi proposta por Wyns (1999), chamada PROSA, que divide o sistema de manufatura em três “holons” principais: um holon de produto, responsável pela informação sobre o produto (método de fabricação, materiais e ferramentas necessários, nível de qualidade, etc.), um holon de recurso, que abrange os recursos à disposição da empresa (pessoal, máquinas, energia elétrica, meios de transporte, etc.) e um holon de pedido, que representa o pedido do cliente dentro do sistema (prazo de entrega, tipo de produto, etc.). Um diagrama explicativo da arquitetura PROSA está apresentado na Figura 7

Adicionalmente a estes três holons, são agregados holons secundários, chamados de especialistas, que assumem tarefas específicas. Por exemplo, um holon especialista de seqüenciamento poderia fornecer informações para os holons de pedido e recurso, de modo a capacitá-los a tomar as melhores decisões.

O sistema holônico agrega as características de um controle hierárquico e de um heterárquico. No exemplo anterior, os holons trabalham de forma independente, recebendo as informações do holon especialista de seqüenciamento como “conselhos”, não como um comando, de forma que quando ocorre um evento imprevisto, este ignora os “conselhos” e toma suas próprias decisões.

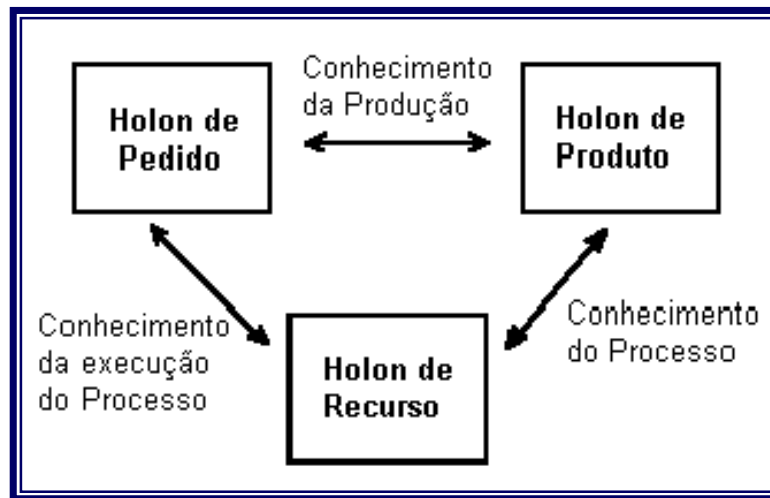


Figura 7. Estrutura da arquitetura PROSA (Wyns, 1999)

5. COMPARAÇÕES E CONSIDERAÇÕES

Analisando-se todos os sistemas apresentados de forma seqüencial, nota-se que cresceu ao longo do tempo a preocupação em atender aos anseios do cliente. Há um grande contraste entre o sistema em linha, usado por Ford para fabricar o Ford “T”, que era um produto sem qualquer variação ou personalização, e os sistemas aplicados atualmente, buscando fabricar um produto diferente para cada cliente, de forma a atender seus anseios pessoais.

Nos sistemas mais antigos, o componente cliente nem mesmo aparece. Este começa a aparecer no sistema CIM, como o elemento “pesquisa de mercado”, que busca encontrar uma tendência. Esta tendência tem a intenção de determinar grupos de pessoas com as mesmas necessidades, o que iria gerar a criação de um novo produto. Já no sistema Ágil, a ligação com o cliente já é mais estreita, colocando toda a empresa a seu serviço, buscando atender ao seu desejo individual e não mais de um grupo de pessoas consideradas “iguais”.

No sistema holônico, este conceito vai além, colocando o desejo do cliente como parte essencial do próprio sistema de manufatura (“holon de pedido”). Como nos explicam Batocchio *et al.* (1999), o Sistema Holônico de Manufatura reúne componentes importantes do sistema Ágil e de outros sistemas, podendo ser considerado em um nível mais elevado do que o da manufatura ágil.

6. CONCLUSÕES

Esta análise torna claro que os sistemas de manufatura a serem desenvolvidos futuramente deverão ter sua estrutura cada vez mais centralizada no cliente, buscando

estabelecer com este uma ligação cada vez mais estreita e permitindo a ele um controle cada vez maior sobre o resultado final do sistema de manufatura, que é o produto.

Os sistemas que não tiverem foco no cliente certamente estarão fadados ao fracasso. Está claro que o mercado assumiu uma tendência irreversível.

As novas tecnologias disponibilizadas e popularizadas atualmente, como a Internet, são capazes de estreitar o relacionamento empresa-cliente, e devem ser aproveitadas nos novos sistemas de manufatura.

7. AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos dos autores à FAPESP pela manutenção de uma bolsa de mestrado a um dos autores e ao RECOPE/FINEP/BID pelos recursos computacionais disponibilizados a este trabalho.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- "Arqueologia" - Folha de São Paulo, Caderno Mais!, p.11 - 09/05/1999.
- Asai, K. and Takashima, S., "Manufacturing, Automation Systems and CIM Factories", Chapman & Hall, Japan, 1994.
- Batocchio, A. – "Tecnologia de Grupo", Apostila do curso IM190 - Unicamp - SP. 1992.
- Batocchio, A. and Fioroni, M. M., "GPHMS Home Page – Grupo de Pesquisa em Sistema Holônico de Manufatura" [online]. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.fem.unicamp.br/~defhp/index.htm> . Arquivo consultado em 11 de dezembro de 1999.
- Batocchio, A., Fioroni, M. M.; Georges, M. R. R.; Souza, A. C.; Rosa, A. B. and Franco, G. N., "Manufatura Ágil X Sistema Holônico de Manufatura", Apresentado no IV SBAI - Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, São Paulo, SP, 08-10 de Setembro de 1999.
- IMS, "IMS – Intelligent Manufacturing Systems Home Page" [online]. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.ims.org> . Arquivo consultado em 11 de dezembro de 1999.
- Kidd, P. T., "Agile Manufacturing – Forging New Frontiers", Addison-Wesley, England, 1994.
- Wandmacher, R. R., "Information Management as a Key to Agile Manufacturing", presented at Manufacturing Information Systems, Detroit, October 24, 1994.
- Wyns, J., Brussel, H. V., Valkenaers, P. and Bongaerts, L., "Workstation Architecture in Holonic Manufacturing Systems", presented at 28th CIRP International Seminar in Manufacturing Systems, may 15-17, 1996, Johannesburg, South Africa, p220-231. "Cirp Journal on Manufacturing Systems", Vol.26, No 4.
- Wyns, J., "Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA", Doctoral Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Mechanical Engineering Dept., Belgium, 1999.