

ARQUITETURA PARA PEQUENAS E MÉDIAS EMPRESAS ORGANIZADAS HOLONICAMENTE

Gustavo Nucci Franco

Antonio Batocchio

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Fabricação, Campinas – SP – Brasil, email: nfranco@fem.unicamp.br

Resumo

Para que empresas sobrevivam em um ambiente de crescente competitividade, essas devem se adaptar às exigências de seu ambiente externo. Isso significa rápida incorporação de novas tecnologias, novos produtos, novas estruturas, etc., de acordo com as necessidades do mercado. Surge, então, a questão de como reagirão as pequenas e médias empresas (PMEs) frente a concorrência das grandes empresas globais. Assim, este trabalho propõe uma arquitetura que possibilite maior agilidade para PMEs. Essas empresas serão modeladas através do paradigma holônico, proporcionando-lhes diferenciais competitivos.

Palavras chave. Paradigma holônico, sistema baseado em agentes, pequena e média empresa, modelagem de processos de negócio.

1. INTRODUÇÃO

Indústrias de diversos setores têm passado por mudanças nas últimas duas décadas. Os mercados estão se tornando cada vez mais voláteis e imprevisíveis, levando a necessidade de lotes menores e demanda crescente de produtos customizados de baixo custo. Esses fatores se agravam a medida que a globalização da economia amplia o espaço de competição, aumentando a já acirrada concorrência entre as empresas. Fica evidente que aqueles que não alavancarem sua vantagem competitiva verão diluídas suas aspirações e alternativas de sobrevivência. Diante desse cenário, resta a questão de como as pequenas e médias empresas (PMEs) se posicionarão em um futuro próximo.

Novos sistemas devem ser buscados, passando as estratégias de desenvolvimento a ter uma importância cada vez maior na competitividade industrial. Mais do que um fator diferenciador, a competência tecnológica é qualificadora para as empresas que desejarem obter sucesso em um futuro próximo.

Uma resposta a esses desafios é o projeto internacional denominado Sistema Holônico de Manufatura (HMS), que vem desenvolvendo sistemas de manufatura através da integração de unidades modulares altamente flexíveis, ágeis e reusáveis. O objetivo do HMS a longo prazo é desenvolver sistemas flexíveis e adaptativos para manufatura. Essa geração de sistemas de manufatura formará fábricas distribuídas, reconfiguráveis e virtuais, nas quais homem, máquina e computador formarão blocos dinâmicos [HMS, 2000].

A partir de conclusões tiradas sobre a função dos países que ficarem a margem do processo de desenvolvimento, em 1998 formou-se no Brasil o Grupo de Pesquisa em Sistemas

Holônicos de Manufatura [GPHMS, 2000]. Trata-se de um grupo de pesquisa que visa investigar e traduzir para a realidade brasileira as tecnologias desenvolvidas a partir do paradigma holônico. Parte dos trabalhos do GPHMS diz respeito a soluções para PMEs.

Este trabalho propõe uma arquitetura para PMEs desenvolvida do estudo dos princípios desenvolvidos para o Sistema Holônico de Manufatura (HMS). Para isso, os principais princípios serão inicialmente apresentados. Os sistemas baseados em agentes serão mostrados como uma forma de se garantir a cooperação entre os elementos da arquitetura. Em seguida, o paradigma holônico será apresentado, dando bases fundamentais para que uma arquitetura para PMEs seja desenvolvida.

2. SISTEMAS BASEADOS EM AGENTES

Agentes são um novo paradigma para o desenvolvimento de aplicativos, podendo levar a uma revolução na engenharia de software. Atualmente o estudo de sistemas baseados em agentes tem sido foco da ciência da computação, sobretudo em seu campo da inteligência artificial (AI), mas seu interesse vêm crescendo em outras áreas.

Existem várias utilizações para o termo agente, cada uma levando a uma noção substancialmente diferente de agência. De acordo com Shardlow (1990):

‘Agentes fazem coisas, agem: é por isso que se chamam agentes’.

Trata-se de uma tarefa ativa que origina ações que afetam o ambiente, ao invés de permitirem passivamente que o ambiente os afete.

Uma característica importante no comportamento de agentes é sua autonomia. Agentes devem ser capazes de executar tarefas sem a intervenção direta de outros agentes, além de controlar suas ações e estados internos. Para isso, os agentes são dotados de uma flexibilidade que lhes permite selecionar ações que atendam aos objetivos do sistema. Assim, além de autonomia, os agentes possuem:

- *correspondência*: devem ter percepção sobre seu ambiente (o mundo físico, um usuário, um conjunto de agentes, etc.) e devem responder em tempo hábil às mudanças que ocorrem nesse ambiente.
- *proatividade*: não agem apenas em resposta a seu ambiente, devendo ser capazes de mostrar oportunismo, ser direcionados a objetivos e tomar iniciativas quando necessário.
- *sociabilidade*: devem ser capazes de interagir com outros agentes, possuindo comportamento humanos para solucionar seus problemas e ajudar outros agentes em suas atividades.

Incorporando essas características, pode-se formar sistemas com desempenho melhor, verdadeiras sociedades chamadas de sistemas baseados em agentes. A questão chave nesses é a conciliação da autonomia e da cooperação, minimizando os conflitos e chegando-se aos objetivos determinados.

2.1 Agentes como sistemas intencionais

Até aqui, os agentes foram associados às ações que realizam. Embora ações autônomas estejam diretamente envolvidas na sua definição, essas dificilmente podem ser critério único para definir o comportamento de um agente, uma vez que qualquer ação pode ser descrita de diversas formas. Por exemplo, ao acenar para um amigo, o braço é levantado, músculos são contraídos, neurônios são ativados, ... A análise de um agente meramente por suas ações aparentemente não é prática. Assim, deve-se buscar outras formas para definir o comportamento de um agente.

Tomando como objeto de comparação o comportamento humano, esse pode ser previsto e explicado pela atribuição de atitudes como acreditar, querer, escolher, temer, etc. Por

exemplo [Wooldridge & Jennings, 1994]: “*Janine levou seu guarda chuva porque acreditava que iria chover*” ou “*Michael trabalhou duro pois ele queria seu título de PhD*”. Essas atitudes são as noções intencionais e as entidades cujo comportamento pode ser previsto por essa atribuição foram chamadas por Dennett (1987) de sistemas intencionais.

Se um sistema intencional pode ser uma condição necessária e suficiente para descrever o comportamento humano, sua utilização na modelagem de agentes pode ser uma solução. No entanto, atribuir intenções a agentes artificiais como máquinas é questionável, merecendo uma análise e fundamentação antes de ser realizada. McCarthy (1978) argumenta que é legítimo atribuir desejos, vontade própria, intenções, consciência ou habilidades a uma máquina quando essa atribuição expressa a mesma informação sobre a máquina que se expressa sobre uma pessoa. Ainda, essa atribuição se torna útil quando ajuda no entendimento da estrutura da máquina, de seu comportamento passado e futuro.

2.2 O modelo BDI

As noções intencionais são ferramentas de abstração que provêm uma maneira conveniente e familiar de descrever, explicar e prever o comportamento de sistemas. Sua atribuição é mais correta para sistemas de estrutura conhecida, mas é mais útil para estruturas complexas e completamente desconhecidas. Surgem, assim, vários modelos que tentam explicar de maneira formal a racionalização dos agentes. Um dos modelos de maior aceitação, estudo e implementação é o BDI (*belief-desire-intention model*) [Bratman, 1987].

O modelo BDI foi introduzido em meados dos anos 80, sendo mantido inalterado desde então. Desde seu desenvolvimento, houve muitas alterações em áreas de interesse como a AI, fazendo com que surgissem muitas outras propostas. Ainda assim, esse modelo continua sendo muito utilizado. Segundo Georgeff et al. (1998) isso se deve a combinação de um respeitável modelo filosófico sobre o comportamento humano, várias implementações, aplicações bem sucedidas e uma semântica lógica abstrata e elegante.

O modelo BDI utiliza termos que se relacionam a crença, desejo e intenção para representar componentes habituais (estados, objetivos e ações), uma vez que os agentes, ao contrário dos objetos, consideram o trabalho com informações imperfeitas. Assim, os componentes que formam o modelo BDI são:

- *Crenças (beliefs)*: representam o componente informativo do ambiente. Em termos computacionais, informam o estado do ambiente através de valores de variáveis, bancos de dados relacionais, expressões lógicas em cálculo predicativo ou outra estrutura de dados. Devido à dinâmica do ambiente, seu não determinismo e a visão local dos agentes, esse atributo deve ser alterado de acordo com ações sensíveis.
- *Desejos (desires)*: são os objetivos que indicam o estado final a ser alcançado. Os processos em sistemas baseado em agentes são orientados a objetivo, e não a tarefas, sendo, assim, realizados de uma forma consciente e de acordo com o estado desejado. Desse modo, cria-se um processo mais flexível, capaz, inclusive, de recuperar falhas e aproveitar oportunidades não inseridas explicitamente no processo.
- *Intenções (intentions)*: formam o componente deliberativo do sistema. Uma vez que o sistema deve agir, as ações ou procedimentos apropriados devem ser selecionados entre diversas possibilidades. Trata-se de uma função, projetada de modo a permitir que o sistema atinja seus objetivos, dados os recursos disponíveis e o estado do ambiente. Suas respostas são seqüências de comandos.

Pode-se, então, pensar em um agente como um elemento que consiste de crenças sobre o mundo real, desejos que precisam ser satisfeitos e intenções a serem adotadas em resposta a eventos externos ou objetivos internos. Devido a limitação de recursos, um sistema pode armazenar planos genéricos e parametrizados para serem utilizados em situações futuras (tal

qual o ocorre com as intenções). Trata-se de uma biblioteca de *planos* semanticamente idênticos às intenções. Cada *plano* é uma especificação abstrata de seqüências possíveis de ações que podem ser utilizadas em ocasiões pré definidas. O conjunto de *planos* pode, ainda, limitar as ações de uma agente.

3. SISTEMAS HOLÔNICOS

O neologismo holon surgiu do trabalho de Arthur Koestler que, há mais de 30 anos, observou e descreveu propriedades importantes de sistemas complexos, a estrutura e as relações entre seus componentes. Em suas obras, Koestler discute numa visão sociológica a natureza de sistemas como o cérebro humano, sociedades e organismos vivos.

Koestler (1967) introduziu a palavra holon, combinação de *holos* (do grego todo) com o sufixo *on* (parte) para indicar *partes* de um sistema que possuem o comportamento de *todos*. Seu trabalho parte do princípio de que sistemas podem ser mais eficazes se forem compostos por subsistemas intermediários estáveis [Simon, 1966]. Naturalmente, sistemas complexos, como os animais, são sempre estruturados como uma hierarquia com vários níveis de formas estáveis. São células que formam órgãos, que por sua vez se agrupam para formar sistemas com fisiologias bem definidas, levando a um ser humano. Em seguida, percebeu que nessas hierarquias, mesmo sendo fácil de se identificar os subsistemas e seus elementos, *todos* e *partes* em um senso absoluto não existem. Assim, os holons enfatizam a natureza híbrida dos sistemas reais: são ao mesmo tempo *todos* auto assertivos e *partes* dependentes vistas de um nível superior.

Outro termo introduzido por Koestler foi holarquia, o qual representa o sistema formado por holons cooperativos, organizados de tal forma que estabelecem ambientes operacionais e interfaces externas. Etimologicamente, hierarquia é uma palavra com significado voltado a relações de subordinação, o que leva a estruturas rígidas. As holarquias são estruturas abertas, onde um todo global pode dinamicamente fazer parte de uma ou várias outras estruturas.

O paradigma holônico vem sendo estudado para que novas tecnologias possam ser desenvolvidas. Por potencialmente proverem sistemas inteligentes, flexíveis e reconfiguráveis, muitas aplicações podem surgir com a utilização dessas tecnologias.

3.1 Estática de sistemas complexos

A análise de Koestler (1967) está baseada em uma descrição estática de sistemas complexos. A princípio, os holons possuem uma tendência a manter sua individualidade, uma vez que são *todos*. No entanto, devem funcionar como *partes* integrantes de um sistema maior. Desse modo, os holons possuem duas características vitais:

- *Autonomia*: a capacidade de uma entidade de criar e controlar a execução de seus próprios planos e/ou estratégias.
- *Cooperação*: o processo pelo qual um conjunto de entidades desenvolvem mutualmente planos exeqüíveis e os executam.

Assim como os agentes, os holons estão sujeitos a conflitos entre autonomia e cooperação. O equilíbrio é encontrado quando um holon balanceia suas tendências auto assertivas e integrativas. Para isso, Wyns (1999) fala na existência de um conjunto de regras que governam os holons, dando-lhes maior ou menor liberdade de ação. Ainda assim, os holons possuem flexibilidade para escolher, dentro de limites, a estratégia a ser adotada para atender aos objetivos do sistema. De acordo com o modelo BDI, isso equívale a dizer que os holons possuem um conjunto de *planos* que limitam (e ajudam) suas *intenções* de atender seus *desejos* de acordo com sua *crença* no sistema. Conclui-se que autonomia e cooperação em sistemas holônicos podem ser obtidas através de conceitos baseados em agentes.

Um dos diferenciais de um sistema holônico, o qual lhe garante aspectos próprios em relação aos sistemas baseados em agentes, é sua estrutura hierárquica. Os holons pertencem naturalmente a múltiplas hierarquias ao mesmo tempo. As holarquias são estruturas verticais em forma de árvore cujos ramos se interligam com outras holarquias, formando redes horizontais.

Sistemas holônicos devem ser capazes de associar alta eficiência com alta adaptatividade. Embora essa associação pareça ser contraditória, a solução pode ser obtida através de propriedades dinâmicas desse sistema como auto similaridade e auto organização. Assim, esse sistema se torna extremamente ágil.

3.2 Dinâmica de sistemas adaptativos

A capacidade de reconfiguração com agilidade vem estabelecendo um dos grandes diferenciais de alguns modernos sistemas de manufatura: a agilidade. Em sistemas holônicos, reconfigurar significa movimentar holons entre as diversas holarquias, introduzir novos holons e extrair holons desnecessários. A reconfigurabilidade está associada às propriedades de auto similaridade e auto configuração [Wyns, 1999].

Auto similaridade é uma característica importante que reduz a complexidade do sistema como um todo, facilitando a integração de diversos elementos. Os sistemas holônicos devem possuir componentes auto similares, ou seja, devem ser formados por conjuntos de holons do mesmo tipo (básico) que possuam comportamento e interfaces semelhantes. Essa tendência a auto similaridade em sistemas complexos está relacionada à tomada de decisões e ao processamento distribuído de informações. A identidade própria de cada holon dentro de um mesmo tipo básico é conseguida através da agregação de holons relacionados, habitando suas funções específicas (especializações). Defini-se, assim, auto similaridade horizontal, como sendo aquela dentro de um mesmo nível de agregação, e similaridade vertical, entre diferentes níveis de agregação.

Enquanto um sistema distribuído, deve haver mecanismos que garantam o alcance dos objetivos globais do sistema a partir dos objetivos locais dos holons. Além disso, os holons precisam construir e manter modelos de partes do sistema que sejam relevantes. A engenharia da computação, com o desenvolvimento de arquiteturas de computadores cada vez mais complexos, indicam algumas estratégias onde indivíduos cooperativos em ambientes competitivos proporcionem uma performance global superior a de sistemas formados por indivíduos não cooperativos. Alguns desses modelos direcionam para a reconfiguração do sistema, levando à propriedade de auto organização. Um exemplo são as cada vez mais avançadas arquiteturas *plug-and-play* que se tornaram um verdadeiro fator de marketing em resposta aos árduos trabalhos de instalação de novos sistemas (periféricos, placas, aplicativos, etc.) aos antigos modelos de computadores pessoais.

4. MODELO PARA PMES

O estudo do paradigma holônico pode gerar tecnologias que garantam vantagens competitivas para pequenas e médias empresas (PMEs). Uma típica PME pode ser descrita como uma estrutura casualmente holônica, onde a execução dos processos de negócio está baseada na colaboração e na autonomia de seus trabalhadores.

Toh et al. (1998) representam essa PME através de uma holarquia onde as interações são normalmente estabelecidas entre os recursos humanos, não sendo inclusos os recursos computacionais e operacionais (máquinas, equipamentos, etc.)

Um grande passo é dado com a transformação de uma PME em um sistema onde os holons são formados integrando-se homem-máquina-computador, estando esses conectados a um meio comum de comunicação. Para isso, deve ser definida uma arquitetura para o sistema,

especificando a estrutura holônica e indicando componentes, responsabilidades, dependências, interfaces, dados, interações e restrições.

4.1 Estrutura do sistema

A estrutura de uma arquitetura holônica para PMEs parte da identificação das funções de negócio da empresa. Basicamente, uma PME pode ser representada em seu nível mais macro pelas funções executivas, administrativas e manufatura. Esse é, então, tomado como o primeiro nível de agregação dos holons da PME. Traduzindo essa estrutura para uma linguagem formal chega-se a figura 1, para a qual foi utilizada a UML (*Unified Modelling Language*) de Rumbaugh et al. (1997) que padroniza diagramas para orientação a objetos. O diagrama indica, de acordo com o tipo de terminação das linhas ligando os blocos e os valores associados a essas, que uma PME é formada por pelo menos um holon executivo, pelo menos um holon administrativo e pelo menos um holon de manufatura. Pode-se verificar, ainda, as interações entre os diversos holons.

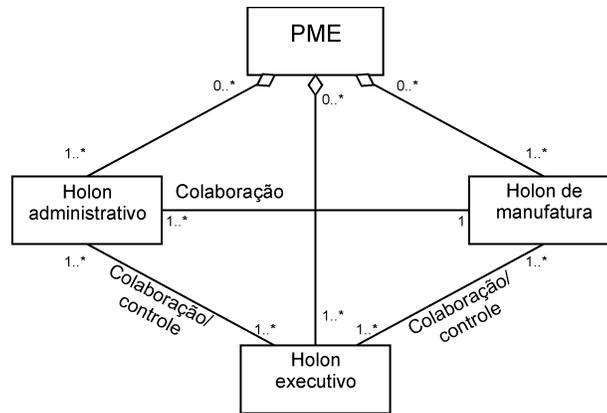


Figura 1 – Estrutura básica de uma PME holônica vista em modelo orientado a objeto

Para cada um dos holons que formam a PME, deve ser especificado um conjunto de holons básicos. Por exemplo, para o holon de manufatura, foi adotada a estrutura da arquitetura de referência PROSA (*Product-Resource-Order-Staff Architecture*) descrita por Wyns (1999) e cuja estrutura básica está representada na figura 2. De acordo com esse

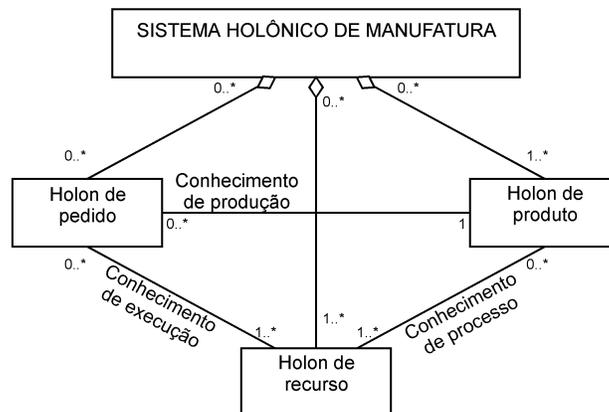


Figura 2 – Estrutura básica de um holon de manufatura segundo a PROSA [Wyns, 1999]

diagrama UML, a PROSA é construída sobre três tipos básicos de holons: holon de recurso, holon de produto e holon de pedido. As interações entre esses holons indica a base de conhecimento trocada entre esses: produção, execução e processo.

A arquitetura holônica para a PME prevê, ainda, a existência de holons de suporte, cuja função é a de auxiliar os holons básicos em funções específicas. Ainda assim, a função de tomada de decisão continua a ser de responsabilidade dos holons básicos, sendo o holon de suporte um especialista externo que provê informações suficientes. Um exemplo pode ser o holon de programação definido pela PROSA, que se comunica com os holons de pedido e os holons de recurso. O holon de programação recebe as informações dos holons de pedido, fazendo uma programação inicial que, a princípio, será seguida pelos holons de recurso. No entanto, quando a programação sugerida se torna inviável, como no caso das paradas das máquinas, os holons de recurso e pedido buscam um acordo que gere uma programação mais eficiente para a situação encontrada, retornando as informações ao holon de programação.

Para diminuir a complexidade do comportamento do sistema, os holons devem ser estruturados em hierarquias apropriadas, ou seja, devem ser criadas as agregações de acordo com as especialidades de algumas partes do sistema. Por exemplo, a PROSA define a agregação da figura 3, onde todos os holons do diagrama UML são holons de recurso (a seta indica uma relação de especialização).

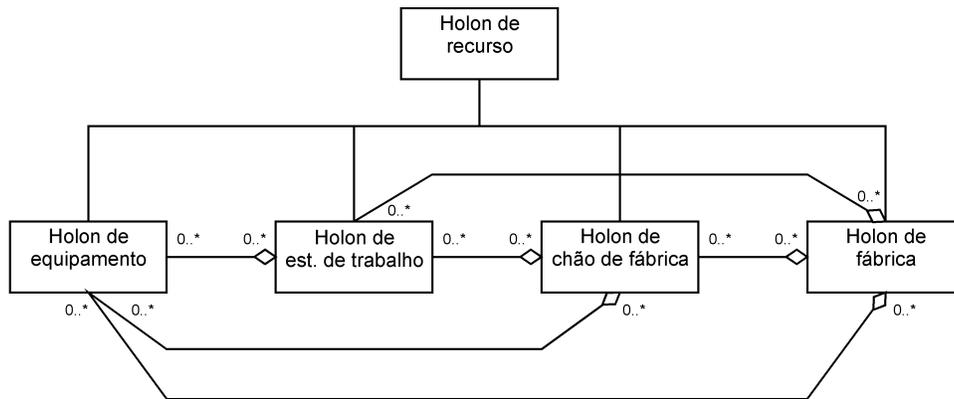


Figura 3 – Agregações do holon de recurso segundo a PROSA [Wyns, 1999]

4.2 Comunicação entre os holons

Uma vez definida a estrutura do sistema, os holons básicos devem ser detalhados através de modelos que determinem autonomia e cooperação entre esses e os demais holons. Dentro de uma arquitetura holônica, processos como negociação de utilização de recursos, planejamento de materiais e cálculo de custos envolvem a participação de vários holons trocando informações e serviços a fim de cumprir objetivos. Para isso, cada holon deve ter a habilidade de se comunicar com outros holons através de algum mecanismo.

Para um holon participar de uma holarquia é necessário que esse se comunique através de uma linguagem. Essa linguagem deve consistir de um protocolo e uma sintaxe para expressar as informações. Além disso, para um holon interpretar as intenções de outros holons, esse deve compartilhar um mesmo modelo de informação, ou conseguir traduzir informações entre diversos modelos, ou seja, cada linguagem deve possuir uma semântica.

A interoperabilidade é um dos pontos críticos para a implementação de sistemas distribuídos. Assim, negociar, cooperar e comunicar é um desafio a ser superado. Para isso, a teoria de sistemas baseados em agentes provê algumas soluções. Por exemplo, uma estrutura dos dados necessária pode ser definida aplicando-se o modelo BDI [Rao & Georgeff, 1995].

4. CONCLUSÕES

As indústrias têm observado mudanças no ambiente econômico que colocam em risco a sobrevivência de muitas empresas. Parece óbvio concluir que a atual estrutura econômica mundial cria um ambiente muito mais competitivo, o que exige mudanças organizacionais para adequar a empresa ao novo cenário.

O paradigma holônico mostra grandes potenciais para o desenvolvimento de novas tecnologias, inclusive para PMEs. Assim, um campo de muitas aplicações surge. Uma delas é o desenvolvimento de um sistema de informação que melhore o desempenho da empresa através de um ganho de agilidade. Desenvolvendo-se redes de informações a partir dos conceitos de autonomia e cooperação, pode-se chegar a sistemas realmente flexíveis, reconfiguráveis e ágeis, melhorando a produtividade alcançada.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi possível com a ajuda da Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), que vem financiando esta pesquisa (Fapesp #98/10840-4), e ao Recope/Finep/BID pelo financiamento dos recursos computacionais utilizados neste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bratman, M.E., 1987, *Intentions, plans and practical reason*. Harvard University Press.
- Dennett, D.C., 1987, *The Intentional Stance*. The MIT Press.
- GPHMS, 2000, Grupo de Pesquisa em Sistemas Holônicos de Manufatura. In www.def.fem.unicamp.br/~defhp/index.htm.
- HMS, 2000, Welcome to the Holonic Manufacturing System (HMS) Web Site. In hms.ifw.uni-hannover.de.
- Koestler, A. *The ghost in the machine*. London: Arkana Books, 1967.
- McCarthy, J., 1978, *Ascribing mental qualities to machines*. Technical report, Stanford AI Lab.
- Rao, A.S., Georgeff, M.P., 1995, BDI Agentes: from theory to practice. In *Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems – ICMAS-95*, San Francisco (CA), USA.
- Rumbaugh, Booch & Jacobsen, 1997, *The Unified Modelling Language (UML) ver 1.0*. Rational Co., California, USA.
- Shardlow, N., 1990, Action and agency in cognitive science. Master's thesis, Department of Psychology, University of Manchester, Manchester, UK.
- Toh, K.T.K., Newman, S.T., Bell, R., 1998, An information system architecture for small metal-working companies. In *Proc. Instn. Mech. Engrs.* v.212, part B, pp. 87-103.
- Wyns, J., 1999, *Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: the key to support evolution and reconfiguration*. PhD thesis, Departement Werktuigkunde Afdeling Productietechnieken, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium.
- Wooldridge, M.J., Jennings, N.R., 1994, Agent Theories, Architectures, and Languages: a survey. In *Proc. ECAI-Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages*, Amsterdam, The Netherlands, p.1-32.