
Modelagem do processo de tomada de decisão para alocação de recursos

Ricardo Bastos
Flávio M. de Oliveira
José Palazzo M. de Oliveira

Diversos modelos e métodos para modelagem de sistemas de manufatura têm sido propostos nas últimas duas décadas. Destacam-se o *Graphs with Results and Activities Interrelated* (GRAI), o *Computer Integrated Manufacturing — Open System Architecture* (CIMOSA), o *Factory of the Future* (FOF) e o *Integrated Manufacturing Planning And Control System* (IMPACS). Cada um desses métodos possui abordagens distintas, contribuindo para a modelagem em diferentes aspectos. Nenhum deles, porém, apresenta como preocupação essencial os aspectos temporais e o sincronismo exigidos no processo de tomada de decisão para alocação de recursos, tendo em vista a utilização compartilhada de tais recursos por diversos processos produtivos.

O objetivo principal neste trabalho é examinar aspectos conceituais e estruturais envolvidos no processo e propor uma abordagem para sua modelagem conceitual baseada em representação do conhecimento por meio de *frames*.

OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO E A ESTRUTURA DE DECISÃO

Um sistema de produção pode ser caracterizado por seus produtos, materiais consumidos, componentes utilizados nos produtos, operações de produção e recursos de produção alocados a essas operações. Durante o processo produtivo ocorre o consumo de materiais e a utilização de recursos de produção. Tais recursos são empregados segundo um roteiro de fabricação particular para cada produto, composto por diferentes operações de produção, tendo em vista a composição do item final. Cada componente de um produto também pode utilizar recursos durante uma operação de produção. Os recursos de produção são essencialmente máquinas, equipamentos e mão-de-obra disponíveis no sistema produtivo, limitados em quantidade.

Uma vez que toda atividade de produção consome recursos, torna-se essencial ao planejamento considerar aspectos relacionados às decisões que possibilitem a alocação de recursos para a produção, considerando limitações de capacidade. Essas decisões devem ser sincronizadas com as atividades do nível hierárquico inferior. As decisões tomadas em determi-

Recebida em dezembro/96
2ª versão em outubro/97

Ricardo Bastos, Doutorando pelo Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação e Mestre em Administração pelo Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Bacharel em Administração de Empresas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, é Professor Adjunto do Instituto de Informática da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Fax: (051) 319-1576

E-mail: bastos@inf.ufrgs.br

Flávio M. de Oliveira, Doutor e Mestre pelo Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, é Professor do Instituto de Informática da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
E-mail: flavio@inf.pucrs.br

José Palazzo M. de Oliveira, Doutor em Informática pelo INPG, Grenoble, França, Mestre em Ciência da Computação e Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, é Professor orientador de cursos de Pós-Graduação na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Fax: (051) 319-1576
E-mail: palazzo@inf.ufrgs.br

nado nível são restritivas para aquelas tomadas em níveis mais baixos, sendo portanto fundamental a integração entre os diferentes níveis de decisão. Cada nível hierárquico de planejamento, em virtude de suas decisões, fornece recursos como capital, equipamentos, mão-de-obra e matéria-prima para níveis inferiores, os quais a seu turno tomam decisões quanto à alocação desses recursos (Oliveira & Walter, 1994).

Tradicionalmente (Doumeingts, Chen & Marcotte, 1992; Oliveira & Walter, 1994; Basaglia, Guida & Treanor, 1994), a hierarquia da estrutura de decisão tem sido dividida em três níveis hierárquicos: estratégico, tático e operacional. Cada nível é caracterizado por tipos específicos de tomadores de decisão, os quais têm diferentes funções e responsabilidades. O planejamento estratégico é realizado para longo prazo, o tático para médio e o operacional para curto prazo. Em consequência dessa hierarquia, os níveis de planejamento inferiores devem colaborar para que sejam atingidos os objetivos dos níveis superiores.

Tendo em vista tal premissa, quanto mais elevada for a hierarquia de decisão, maior será o horizonte de planejamento, ou seja, a decisão tomada deverá ter validade durante maior intervalo de tempo, se comparada com aquelas tomadas por níveis inferiores. Quanto menos elevada a hierarquia de decisão, mais detalhado deverá ser o planejamento e, por consequência, os efeitos da decisão terão validade por menor tempo.

Assim, para o planejamento das atividades de produção, faz-se necessário que os administradores tomem as decisões inerentes a cada nível hierárquico, observando os efeitos dessas decisões sobre os demais níveis.

Essa visão é reforçada por Doumeingts, Chen & Marcotte (1992), quando afirmam que “uma boa estrutura de administração da produção deve permitir sincronizar, no tempo, os três elementos básicos envolvidos na produção: produtos, recursos e materiais. Portanto, o planejamento da produção deve ser sincronizado com o planejamento de recursos e o suprimento de materiais”.

Consideram ainda que “cada plano de produção deve ser acompanhado pelos planos de recursos e de suprimento de materiais, os quais têm o mesmo horizonte que o plano de produção e devem ser revisados na mesma periodicidade que o plano de produção. Esta é a única forma pela qual as três atividades básicas de planejamento e controle da produção (a saber, planejamento da produção, administração de recursos e suprimento de materiais) poderão ser sincronizadas e evoluir na mesma medida no tempo”.

Pode-se considerar a complexidade do problema de sincronização do planejamento em dois níveis: interação entre produtos-materiais e interação entre produtos-recursos. Ainda conforme Doumeingts, Chen & Marcotte

(1992), “as abordagens tradicionais de administração da produção têm essencialmente focalizado a elaboração do planejamento da produção em nível de médio e de curto prazos. A consequência é que a programação da produção em curto prazo sofre freqüentes distúrbios devido a falta de materiais e indisponibilidade de máquinas no chão de fábrica”.

A principal diferença entre as soluções para os problemas de sincronização apontados está na diferença de natureza entre materiais e recursos de produção.

Os materiais são consumidos durante o processo produtivo, constituindo parte do produto final. Portanto, em nível de planejamento, é necessário antecipar o que, quando e quanto comprar de cada material, de acordo com os produtos que se pretende fabricar (dos quais os mesmos sejam componentes), de modo que esses materiais não falem, considerando essencialmente o *lead time* de cada um deles. *A priori*, não existe limitação de elementos básicos envolvidos no processo produtivo, a não ser por sua eventual escassez entre os fornecedores.

Os recursos de produção, por outro lado, estão disponíveis na organização em determinada quantidade, são reutilizáveis e possuem capacidade limitada. Não faz sentido tornar disponível maior quantidade de um recurso por causa do incremento temporário de demanda de determinado produto que o necessite. Somente haverá lógica tornar disponíveis mais recursos para a produção na hipótese de que venha a ser mantido certo nível de fabricação do(s) produto(s) que os utilize(m), justificando o investimento. Recursos ociosos imobilizam capital e geram custos desnecessários nas empresas.

O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

Com base no exposto, pode-se inferir que idealmente o planejamento da produção e o planejamento de recursos devem ser realizados como um processo unificado, ou seja, não devem ser procedidos em etapas distintas em nível de processamento. O processo requer integração, de modo que ao seu final já sejam apresentados os recursos necessários alocados a cada atividade, com o seu respectivo cronograma de utilização, propiciando o atendimento do objetivo de sincronização no tempo. Naturalmente, a saída produzida pelo processo pode identificar incapacidade de atender aos objetivos do planejamento. Dessa forma, o tomador de decisão poderá agir antecipadamente ao verificar qual será a melhor solução para a organização, ou seja, tornar disponíveis novos recursos para a produção, adotar prazos de entrega dos produtos superiores aos previstos ou reduzir a quantidade de produtos a serem fabricados.

Tal procedimento é possível na medida em que seja conhecida a seqüência do processo decisório. Para tanto,

é necessário o conhecimento prévio da hierarquia da estrutura de decisão do sistema produtivo, as atividades a serem executadas para o cumprimento da decisão envolvida e, finalmente, os recursos necessários para o desenvolvimento dessas atividades.

Esse conhecimento prévio é possibilitado uma vez que os caminhos hierárquicos definidos pelo processo de tomada de decisão relativo a determinado aspecto em uma empresa são repetitivos e previsíveis, portanto conhecidos e passíveis de serem registrados e mantidos em uma base de conhecimento. Para a estruturação de tal base de conhecimento os autores deste texto propõem a utilização de *frames*.

MODELAGEM DA BASE DE CONHECIMENTO

Os *frames* foram originalmente propostos por Minsky, em 1975. Segundo Keller (1991), "um *frame* é uma estrutura de dados que pode ser usada para representar qualquer entidade real ou imaginada — como algo chamado humano ou um exemplo de humano —, uma situação ou um evento".

Através dos *frames* é possível representar fatos e relações. Um *frame* descreve um objeto por meio de seus *slots*. Os *slots* podem ter como conteúdo (Harmon & King, 1985):

- valores;
- ponteiros para outros *frames*;
- conjunto de regras ou procedimentos a serem utilizados para a obtenção de valores (métodos).

Um *frame* é uma estrutura que permite a descrição de um objeto ou de uma classe de objetos (Fikes & Kehler, 1985). Por isso, é possível a utilização de conceitos de hierarquia de abstração, identificados como **generalização, agregação e associação** (Hull & King, 1987).

Os *frames* de decisão e recurso

Para a modelagem da base de conhecimento serão usados vários dos conceitos definidos pelo CIMOSA (Lutherer et al., 1994), que vem sendo desenvolvido pelo *European CIM Architecture Consortium* (AMICE), formado por um grupo de 22 companhias européias, universidades e centros de pesquisa, no escopo do projeto ESPRIT, desde 1986.

Os objetivos do CIMOSA, segundo Doumeingts, Chen & Marcotte (1992), são:

- apresentar uma arquitetura de referência para a construção de sistemas em *Computer Integrated Manufacturing* (CIM), evitando a existência de **ilhas de automação**;
- tornar-se um padrão aceito pelos fornecedores de produtos para CIM e seus usuários.

Com tais objetivos o CIMOSA pretende que a integração seja garantida *a priori*, uma vez que todos os componentes de um CIM seriam desenvolvidos de acordo com seus preceitos.

Essencialmente, o CIMOSA pretende facilitar (Kosanke, 1992):

- o desenvolvimento de modelos empresariais de forma evolutiva (iniciando por uma parte da empresa em vez de pela organização como um todo);
- a definição, a descrição e a estruturação dos requisitos de uma empresa de maneira consistente e significativa;
- a derivação, a partir desses requisitos, do projeto do sistema e das especificações relevantes e suficientes dos componentes empresariais;
- a possibilidade de manutenção do modelo empresarial (adaptação às mudanças internas e externas).

A metodologia proposta pelo CIMOSA tem como base o paradigma de orientação a objetos e compreende (Lutherer et al., 1994):

- o *modelling framework*, que descreve conceitualmente como o CIM deve ser modelado;
- o *system life cycle*, que detalha as atividades a serem realizadas para gerar o modelo CIMOSA;
- a *integrating infrastructure*, compreendendo um conjunto de serviços genéricos que suportam a geração e a execução do modelo CIMOSA em ambientes heterogêneos.

Para construir a base de conhecimento das estruturas de decisão e do processo decisório serão utilizados *frames* de decisão e *frames* de recurso. Para definir as atividades a serem realizadas visando atender às decisões representadas nos *frames* de decisão, utilizando os recursos dos *frames* de recurso, será considerado o conceito de **processos de negócio** do CIMOSA. Segundo Vernadat (1992), no CIMOSA, "fundamental para a modelagem e a análise empresarial é o conceito de **processos de negócio**. Um processo de negócio representa um fluxo de ação executado em consequência de alguma requisição (evento interno ou externo) para atender a algum dos objetivos empresariais, levando em consideração as restrições do negócio, utilizando recursos empresariais".

Os *frames* de decisão representam as decisões necessárias para atender aos processos de negócio. Um *frame* de recurso representa a associação entre um recurso e as atividades em que é empregado, as quais correspondem às ações a serem executadas para atender a um processo de negócio.

A base de conhecimento estruturada a partir dos *frames* de decisão (figura 1) e de recurso (figura 2) e dos seus relacionamentos (figura 3) deve ser capaz de representar fundamentalmente as diferentes classes de decisão exis-

tentes na organização, a hierarquia das decisões, as atividades e os recursos necessários para o cumprimento das decisões, além de os aspectos temporais inerentes à execução dessas atividades.

FRAME DE DECISÃO
EVENTO GERADOR: Ordem de Produção para Caixa de Som Modelo P010
CLASSE DE DECISÃO: Fabricação de Produtos
NÍVEL HIERÁRQUICO: Gerência
DECISÃO: Atender Ordem de Produção para Caixa de Som Modelo P010
OBJETIVO: Fabricar lote de 300 peças CPP 010 para atender OS 1094 relativa a Caixa de Som Modelo P010
TOMADORES DE DECISÃO PRINCIPAL: Gerente de Produção ASSOCIADO:
ATIVIDADES RESULTANTES: Injetar peça CPP010 Montar alto-falantes Modelo AF 300
EVENTOS GERADOS: Requisição de Acabamento

Figura 1: Frame de Decisão

FRAME DE RECURSO		
RECURSO: Injetora 201		
ATIVIDADE RESULTANTE: Injetar peça CPP010		
ATIVIDADES PREPARATÓRIAS		
Descrição	Recurso	Tempo Estimado
Executar <i>Setup</i>	Operador de <i>Setup</i>	2 ut
ATIVIDADES OPERACIONAIS		
Descrição		Tempo Estimado
Injetar peças		10 ut

Figura 2: Frame de Recurso

Os construtos necessários aos frames de decisão e de recurso, exemplificados nas figuras 1 e 2, e cujos relacionamentos podem ser visualizados na figura 3, são os seguintes:

- **Classes de decisão** — correspondem ao agrupamento de **decisões** de mesma natureza, tomadas por **tomadores de decisão** de um mesmo **nível hierárquico** na organização.
- **Nível hierárquico** — identifica os diferentes níveis de autoridade e responsabilidade existentes formalmente na organização.
- **Decisão** — resultado de um processo de escolha entre diferentes alternativas para atender ao **objetivo** relativo ao **evento** responsável pela necessidade da decisão.
- **Objetivo** — especifica, para determinada ocorrência de um evento, o resultado esperado em virtude de seu atendimento.
- **Tomadores de decisão** — corresponde aos sujeitos investidos de autoridade e responsabilidade para a tomada de decisão na organização. Um tomador de decisão pode estar associado a uma ou mais classes de decisão em consequência de suas tarefas e responsabilidades no sistema de produção, o que define, em última análise, sua posição no nível hierárquico de decisão: **tomador de decisão principal** ou **tomador de decisão associado**.
- **Evento** — acontecimento externo ou interno ao domínio da organização que exija uma tomada de decisão visando determinar a execução de uma **atividade resultante** para atender aos seus requisitos. Os eventos podem ser externos ao domínio da organização, como pedidos de clientes e cobrança de fornecedores; ou internos como, por exemplo, ordens administrativas, requisições de materiais e ordens de produção. Um evento pode ser ainda **gerador** ou **gerado** para um mesmo frame de decisão.
- **Atividade resultante** — corresponde aos processos de negócio do CIMOSA e compreende o conjunto de ações necessárias para operacionalizar determinada **decisão**. Trata-se da agregação de uma ou mais **atividades preparatórias** e **atividades operacionais**, às quais correspondem as atividades empresariais definidas no CIMOSA (Vernadat, 1992; Vliestra, 1991). As **atividades preparatórias** correspondem a uma ou mais atividades, normalmente necessárias para tornar o recurso identificado no frame de recurso disponível para utilização como, por exemplo, o **setup** de uma máquina. As **atividades operacionais** correspondem às atividades a serem obrigatoriamente executadas para concretizar a **atividade resultante**.

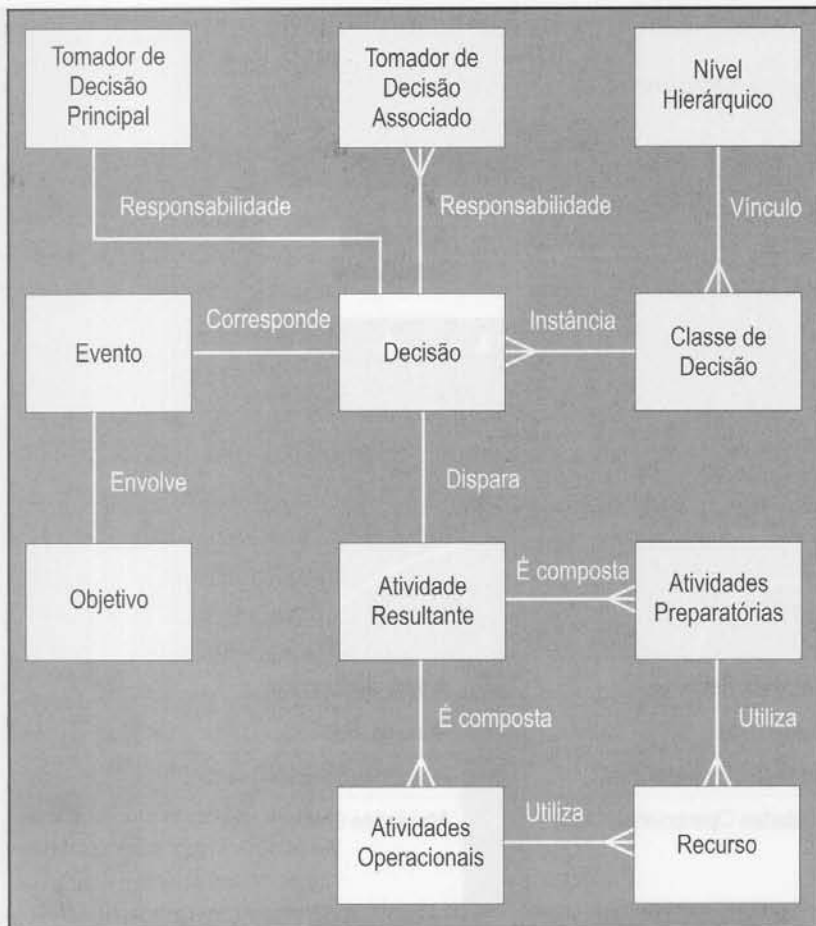


Figura 3: Relação entre os Construtos de um Frame de Decisão

- **Recursos** — também correspondem à definição apresentada no CIMOSA (Vernadat, 1992; Vliestra, 1991) e dividem-se em recursos passivos e recursos ativos. **Recursos passivos** são objetos empresariais não habilitados a executar ações: ferramentas, automóveis etc. **Recursos ativos** são objetos empresariais capazes de executar atividades preparatórias e operacionais: receber, processar, enviar e armazenar informações. Exemplos de recursos ativos são, entre outros, robôs, máquinas de comando numérico, operadores. Os recursos possuem capacidades que correspondem às suas habilidades técnicas, qualificando-os para executar as atividades preparatórias e operacionais, como a capacidade de uma máquina, a lista de habilidades de um empregado etc.

Conforme demonstrado na figura 3, um **evento** determina a necessidade da tomada de uma decisão em resposta à sua demanda. A **decisão** tomada encerra um **objetivo** a ser atingido. Considerando-se o **evento gerador** "ordem de produção para Caixa de Som modelo P010", infere-se que o evento pode ter sido originado pelo pedido

do produto por um cliente. A **decisão** a ser tomada foi a de "atender ordem de produção para Caixa de Som modelo P010", com o **objetivo** de "fabricar lote de 300 peças CPP010 para atender OS 1094 relativa a Caixa de Som modelo P010".

A **decisão** de "atender ordem de produção para Caixa de Som modelo P010" corresponde à instância de uma **classe de decisão** que poderia ser definida como **fabricação de produtos**. O **tomador de decisão** responsável pela decisão pode ter sido o gerente de produção da organização, o qual está necessariamente vinculado ao **nível hierárquico** consistente com a classe de decisão.

Para que a decisão tomada possa de fato começar a surtir efeito, faz-se necessária a execução de **atividades resultantes**, como "injetar peça CPP010" e "montar alto-falantes modelo AF300".

Cada atividade resultante determina uma ou mais **atividades operacionais**, às quais deverão ser associadas estimativas de tempo para sua execução (figura 2). Conforme apresentado na figura 4, para a execução de cada uma das atividades operacionais deverão ser definidos um ou mais **recursos**. Cada um deles poderá necessitar de uma ou mais **atividades preparatórias** de modo a ser habilitado para

utilização nas **atividades operacionais** que o requisitem. As **atividades preparatórias**, por sua vez, também consomem tempo e um ou mais recursos durante sua execução, como pode ser visto na figura 2.

Eventualmente, para dado recurso necessário a uma atividade resultante não será necessária a execução de atividades preparatórias. Tal recurso poderá já estar de acordo com as condições necessárias para sua utilização. Como exemplo cita-se a não-necessidade de realização do **setup** em uma máquina, caso o lote de produção anterior tenha sido de um produto semelhante.

O término da atividade resultante pode gerar um ou mais eventos, exigindo, cada um a seu turno, uma nova decisão e sua respectiva atividade resultante (havendo novamente necessidade de alocar recursos às atividades operacionais e preparatórias) para a continuidade do processo iniciado. No exemplo apresentado, o **evento gerado** refere-se a uma "requisição de acabamento". Os eventos gerados podem determinar um produto lógico, ao serem atendidos todos os eventos gerados, ou ainda uma soma lógica, que exige a decisão sobre qual evento deverá ser atendido.

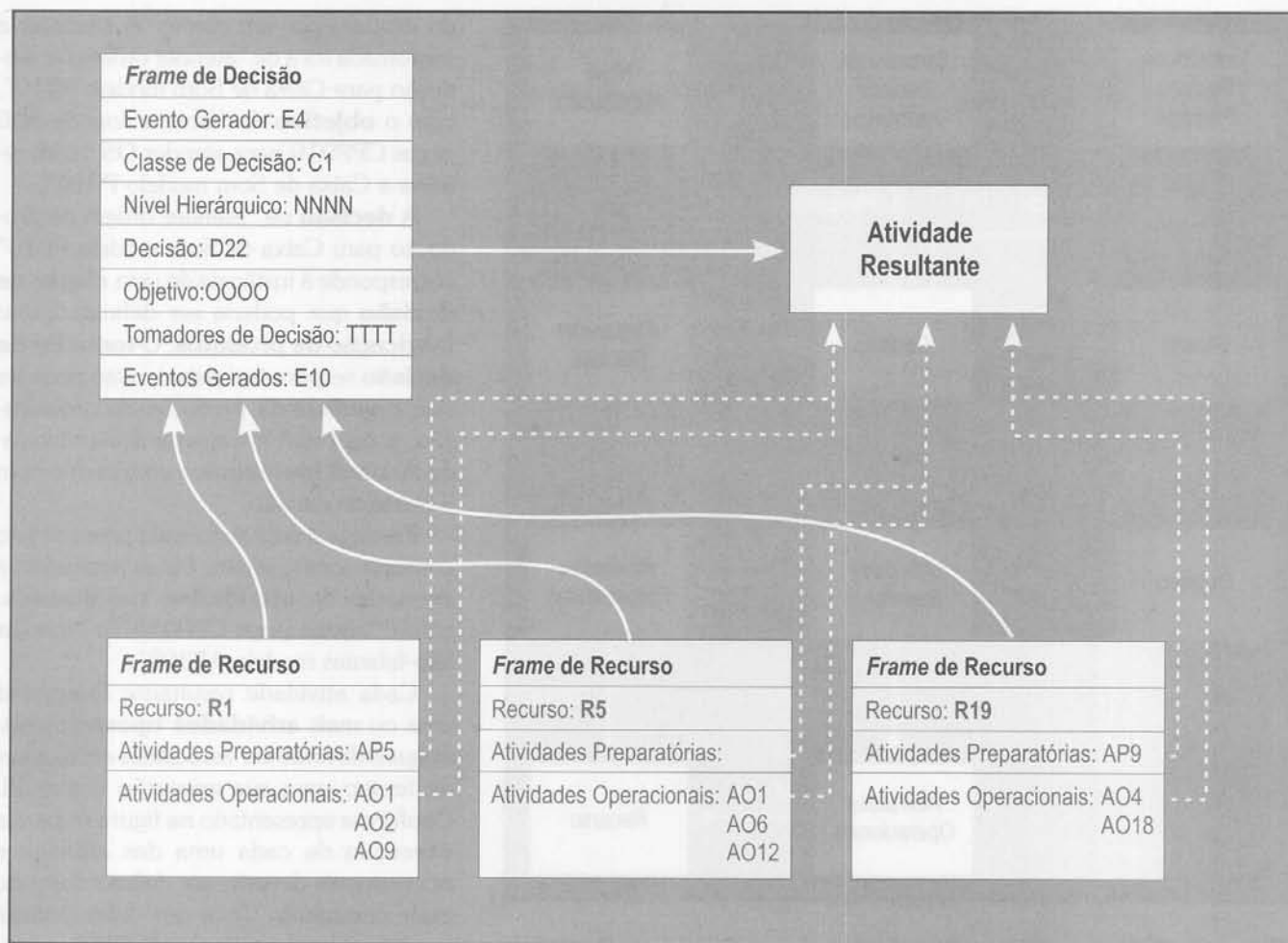


Figura 4: Desdobramento de Frames de Recurso para um mesmo Frame de Decisão

O relacionamento entre frames de decisão e frames de recurso

Todo o processo de tomada de decisão é desencadeado por um evento gerador inicial que pode ser, por exemplo, um pedido de um cliente. Em consequência, são desencadeados novos eventos, originando a necessidade de várias decisões encadeadas visando disparar atividades resultantes para atendê-los. O processo termina no instante em que o objetivo do evento inicial é atendido. No exemplo citado seria quando o pedido do cliente fosse atendido.

A cada evento gerado corresponde um *frame* de decisão. Tem-se, portanto, uma estrutura de *frames* de decisão encadeada, na qual os eventos são o ponteiro entre os *frames*. Um *frame* de decisão pode originar um ou mais **eventos gerados**, os quais apontarão para um ou mais *frames* de decisão mediante seu **slot evento gerador**.

Na figura 5 é representado esquematicamente o encaideamento entre *frames* de decisão em consequência dos eventos gerados.

A execução das atividades e os aspectos temporais

Pelo até aqui exposto, infere-se que os aspectos temporais são vitais à gestão da produção e de materiais, cabendo examinar quais seriam as variáveis temporais a serem consideradas. De acordo com Oliveira & Walter (1994), destacam-se na figura 6 as variáveis temporais básicas associadas a uma decisão.

Essas variáveis temporais básicas são:

- **Preparação (P)** — intervalo de tempo entre a tomada de decisão e o início de seus efeitos. O final desse intervalo de tempo corresponde ao momento em que o(s) recurso(s) necessário(s) à atividade resultante objeto da decisão estará(ão) apto(s) para ser(em) utilizado(s).
- **Final (F)** — intervalo de tempo que começa com a tomada de decisão e termina quando é atingido o seu objetivo.
- **Horizonte (H)** — horizonte da decisão, compreendendo o intervalo de tempo entre o início da atividade resul-

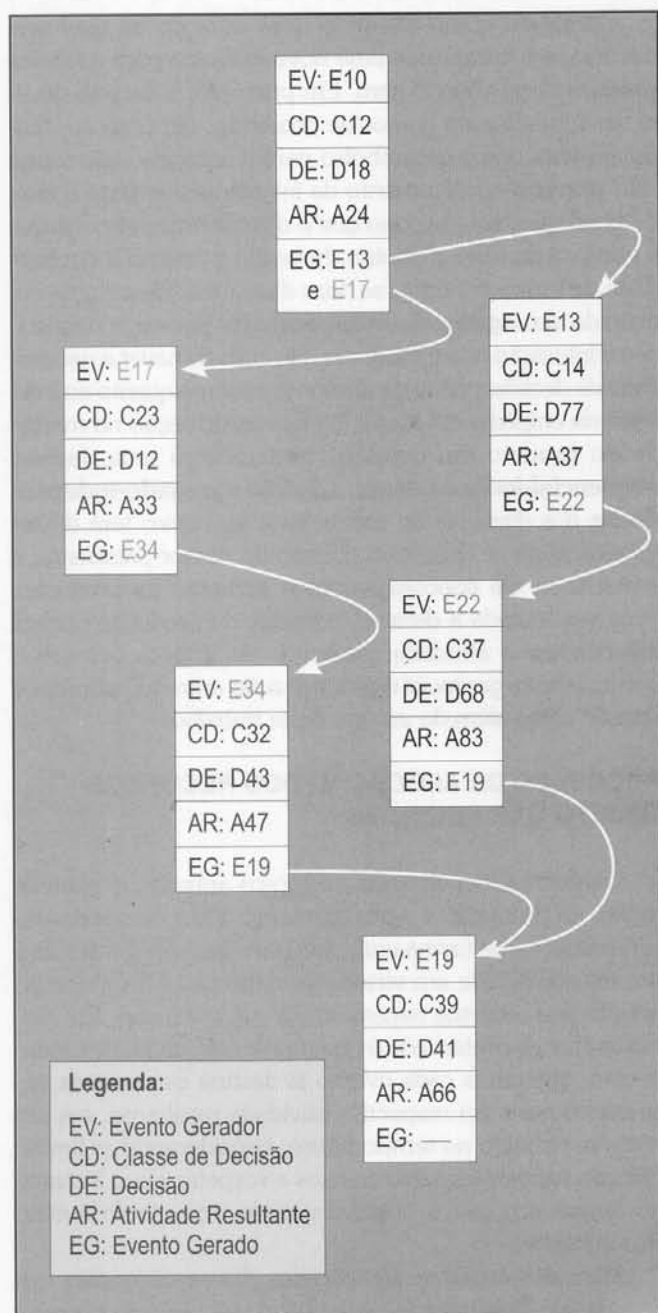


Figura 5: Encadeamento entre Frames de Decisão

tante da decisão e o instante em que o seu objetivo é atingido ($H = F - P$).

- **Utilização (U)** — intervalo de tempo em que ocorre a atividade resultante da decisão e a consequente utilização do(s) recurso(s) alocado(s) às atividades operacionais que o(s) necessitem ($U = H - E$).
- **Espera (E)** — intervalo de tempo entre o término da utilização dos recursos necessários ao cumprimento da atividade resultante da decisão e o instante em que o seu objetivo é atingido ($E = F - U$).

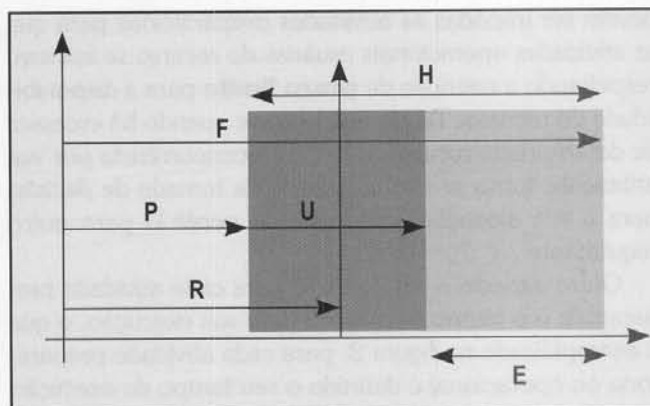


Figura 6: Janela de Planejamento de uma Decisão

- **Replanejamento (R)** — intervalo de tempo em que ocorre a necessidade de replanejamento. Relaciona-se à frequência com que ocorrem novos fatos, os quais alteram o estado da produção, como quebras em equipamentos e falta de material.

Sob o ponto de vista temporal, as relações entre as atividades discutidas no tópico anterior podem ser assim definidas:

- **Atividade resultante e atividades operacionais de um frame de recurso** — a atividade resultante é composta funcionalmente por uma ou mais atividades operacionais. As atividades operacionais necessárias a uma atividade resultante devem ser previamente definidas, assim como os tempos de duração individuais, os recursos a serem utilizados e as relações de precedência, de modo a serem facilmente **instanciadas** em um **frame de recurso**. As atividades operacionais devem necessariamente ser executadas dentro do intervalo de tempo definido pela variável **Utilização (U)**.

- **Atividade resultante e atividades preparatórias de um frame de recurso** — para um dado **frame de recurso** e sua respectiva atividade resultante, as atividades preparatórias devem ocorrer dentro do intervalo de tempo definido pela variável **Preparação (P)**. Caso as atividades preparatórias extrapolem o período definido para **P**, haverá atraso no início da operacionalização da atividade resultante.

Com base em tal perspectiva, existem dois fatores restritivos para o final do período **P**. O primeiro fator refere-se ao **prazo limite** para que o recurso se torne disponível. Caso o recurso não se encontre disponível dentro do prazo limite, estará extinta a sua necessidade. O segundo fator complementa o primeiro. Refere-se à **oportunidade** da decisão, ou seja, o período de tempo limite em que

devem ser iniciadas as atividades preparatórias para que as atividades operacionais usuárias do recurso se iniciem, respeitando a restrição de **prazo limite** para a disponibilidade do recurso. Tal situação ocorre quando há escassez de determinado recurso e, devido à concorrência por sua utilização, torna-se vital a rapidez da tomada de decisão para a sua alocação, sob pena de perdê-lo para outro requisitante.

Outro aspecto a ser definido para cada atividade preparatória é o tempo necessário para sua execução, o que é exemplificado na figura 2: para cada atividade preparatória ou operacional é definido o seu tempo de execução em uma unidade de tempo (**u.t.**).

Tendo em vista que para a execução das atividades preparatórias e operacionais de uma mesma atividade resultante podem ser necessários diversos recursos, e que para cada recurso deve existir um *frame* de recurso, infere-se que uma mesma atividade preparatória ou operacional pode aparecer em um ou mais desses *frames*. Apesar de essa atividade aparecer em mais de um *frame*, trata-se da mesma atividade e, portanto, para fins de programação do tempo deve ser considerada como uma única ocorrência.

Dependência decisória

Aspecto importante a ser observado refere-se à decisão relativa a um *frame* de decisão. Essa decisão pode exigir a participação de outros tomadores de decisão, conforme representado no *frame* de decisão da figura 3, item **Tomadores de Decisão Associados**. Esse aspecto denota nova faceta da questão de hierarquia de decisões: as decisões tomadas em determinado nível hierárquico não apenas repercutem nos níveis inferiores em virtude do evento gerado exigindo a tomada de novas decisões, mas também repercutem lateralmente, muitas vezes exigindo decisões do mesmo nível hierárquico e, eventualmente, até de níveis hierárquicos superiores para a sua aprovação. Tal fator aumenta a complexidade desta abordagem e para examinar a situação será utilizada a classificação apresentada por Sprague & Carlson (1982), baseada em Hackathorn & Keen (1981). Segundo essa classificação, as decisões podem ser tomadas por mais de uma pessoa de modo **independente**, **seqüencial-independente** ou **agregado-independente**.

As decisões tomadas de modo **independente** são aquelas em que o tomador de decisão não precisa interagir com alguém para executá-las, ou seja, não exigem decisões conjuntas para serem operacionalizadas. As decisões tomadas de modo **seqüencial-independente** ou **agregado-independente** correspondem àquelas (principais) que, para poderem iniciar as **atividades encadeadas** para efetivá-las, dependem de decisões (associadas) de outro(s) tomador(es) de decisão.

Considere como exemplo uma situação na qual seja necessária a compra de uma nova máquina para a fábrica produzir determinado item. Em princípio, a decisão deverá ser tomada pelo diretor de produção. No entanto, tendo em vista que o desembolso para a aquisição não tenha sido previsto no orçamento de investimentos para a área de produção, será preciso que o diretor financeiro aprove a compra da nova máquina, havendo portanto a necessidade de interação entre as duas diretorias. Essa é uma decisão do tipo **agregado-independente** por exigir negociação e interação entre decisores. No caso de haver a necessidade de decisão prévia do diretor-presidente quanto ao interesse da empresa em aumentar sua participação no mercado do produto em questão, caracterizará uma decisão **seqüencial-independente**: a decisão **agregado-independente** dos diretores de produção e financeiro terá de ser tomada seqüencialmente à decisão do diretor-presidente, e somente se ele concordar com o aumento da produção. Uma vez tomada a decisão, o diretor de produção poderá desencadear a atividade resultante. As implicações sob o ponto de vista gerencial dessa interação entre tomadores de decisão estão além do escopo deste trabalho.

PROCESSO DE ALOCAÇÃO DOS RECURSOS OBJETO DAS DECISÕES

Conforme mencionado no tópico anterior, o planejamento da produção e o planejamento dos recursos devem ser realizados de forma unificada para que seja garantida a sua exequibilidade em virtude da definição e da alocação prévias dos recursos necessários à sua execução. Em última análise, o pretendido é que o processo de planejamento para atender a cada evento já destine os recursos necessários para sua respectiva atividade resultante, em um instante definido no tempo futuro, considerando as limitações de capacidade dos recursos e respeitando o instante no tempo em que o objetivo gerado a partir do evento seja atingido.

Além dos aspectos já colocados, faz-se necessário evidenciar que determinado recurso pode ser utilizado por uma única ou por diversas atividades preparatórias e operacionais, sendo fundamental a sincronização em sua alocação. Na hipótese de um recurso vir a ser utilizado por mais de uma atividade, tem-se as seguintes possibilidades:

- conflito entre atividades preparatórias e operacionais que necessitem utilizar simultaneamente o mesmo recurso;
- seqüência de utilização de um mesmo recurso operacional por distintas atividades preparatórias e operacionais. O principal problema, nesse caso, refere-se a que o atraso na liberação de determinado recurso por uma dessas atividades pode determinar atraso na execução de atividade preparatória ou operacional que o aguarda na seqüência.

Para que seja garantida a exeqüibilidade do planejamento unificado, faz-se necessário:

- associar a cada evento o instante no tempo em que o resultado demandado pelo mesmo será atingido;
- considerar esse instante no tempo como o limite temporal para o término da última atividade operacional referente à atividade resultante do *frame* de decisão relativo ao evento, correspondendo ao final do período **U** da atividade resultante;
- identificar, considerando o conjunto das atividades preparatórias e operacionais resultantes, quais fazem parte do caminho crítico, ou seja, o conjunto de atividades sequenciais que não podem sofrer atrasos, sob pena de extrapolar o limite de tempo do período **U**;
- retroagir, considerando as atividades preparatórias e operacionais do caminho crítico, de acordo com os seus tempos de duração individuais, respeitando as suas relações de dependências, até chegar ao instante de tempo inicial em que a primeira atividade deve ocorrer.

Assim procedendo, tem-se o instante em que deverá ser iniciada e terminada cada atividade preparatória ou operacional necessária para executar o planejamento, bem como as folgas existentes.

Uma vez que a preocupação está centrada na alocação de recursos, resta verificar os instantes no tempo em que tais recursos serão usados, de modo a definir a sua programação de utilização e a existência de conflitos temporais entre as atividades que os requisitam. Como os recursos estão diretamente relacionados às atividades preparatórias e operacionais, os instantes de início e término definidos para essas atividades devem também ser considerados. Para cada um dos recursos deve ser verificada a existência de sobreposição temporal em sua utilização (considerando diferentes atividades resultantes), ou seja, sobreposição parcial ou total de sua utilização entre os instantes de início e término das atividades a que se destinam. Caso exista tal sobreposição, devem ser adotadas medidas corretivas para evitá-la.

Para recursos não-alocados a atividades preparatórias e operacionais críticas, a solução pode ser simplesmente redefinir o instante de tempo em que a atividade deverá se iniciar (desde que não acarrete problemas a outro recurso alocado à mesma atividade, se existir).

No caso de o recurso estar alocado a uma atividade preparatória ou operacional crítica, torna-se inevitável redefinir o instante de término do período **U** de uma das atividades resultantes envolvida nos *frames* de decisão encadeados. Para tanto, podem ser definidos graus de importância para os diversos **eventos** iniciais das diferentes cadeias de *frames* de decisão estabelecidas a cada rodada de planejamento, critério de decisão a ser adotado para solucionar situações de conflito.

Com a adoção dessa sistemática já podem ser apresentadas, durante o planejamento, soluções para problemas de conflitos entre recursos, ao respeitar seus limites de capacidade, sincronizar o planejamento de produção e o planejamento de recursos e, ainda, alocar previamente instante a instante no tempo cada um dos recursos a serem utilizados pelas atividades preparatórias e operacionais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo dos autores neste trabalho foi o desenvolvimento de um modelo conceitual relativo ao processo de tomada de decisão para alocação de recursos, considerando os aspectos temporais envolvidos e o sincronismo exigido no processo em consequência da utilização compartilhada de recursos por diversas atividades produtivas. Do desenvolvimento do modelo resultou uma base de conhecimento que determina o caminho decisório a ser seguido para atender aos eventos padrões de uma organização. A partir dessa base de conhecimento, torna-se factível a geração de sistemas de informação capazes de:

- formalizar o processo decisório a ser seguido para os casos relativos a eventos conhecidos da organização;
- proporcionar, pelo prévio conhecimento da sequência de *frames* de decisão a serem executados a partir de um evento inicial no processo de planejamento da produção, condições para a geração da programação temporal das atividades resultantes identificadas nos *frames*;
- alocar, a cada ocorrência do planejamento da produção, os recursos necessários às atividades resultantes a serem executadas para atender aos eventos oriundos do planejamento.

O modelo esboçado é passível de grande número de aplicações potenciais, todas relacionadas, em maior ou menor grau, à ênfase dada ao papel dos recursos nas decisões. É interesse dos pesquisadores ressaltar, em particular, a possibilidade natural de aplicar o modelo para apoio à tomada de decisão segundo um enfoque **distribuído**. A forma modular das descrições, aliada ao seu alto nível de abstração, faz com que se tornem um suporte atraente para a concepção de sistemas de apoio à decisão em ambiente de manufatura, com base em conceitos de **Inteligência Artificial Distribuída** (IAD).

Pode-se conceituar IAD como o estudo do comportamento computacionalmente inteligente* resultante da interação de múltiplas entidades dotadas de certo grau —

* Usa-se a expressão "comportamento computacionalmente inteligente" para evitar a discussão — por vezes tediosa — em torno do que seja comportamento inteligente em geral. Muitas tarefas — por exemplo, coordenação motora — são consideradas extremamente inteligentes para um computador.

possivelmente variável — de autonomia (Oliveira, 1996). Tais entidades são usualmente denominadas **agentes** e o sistema, como um todo, chamado de **sociedade**. Correa (1994) define agente como uma entidade que funciona continua e autonomamente em um ambiente no qual existem outros processos e agentes. Funcionar autonomamente significa que as atividades do agente não exigem intervenção humana contínua, ou que ele possui poder de autodeterminação com relação ao meio ambiente.

A principal diferença entre a IAD e a área de Processamento Distribuído (PD) reside no nível de abstração: enquanto os conceitos e técnicas de PD se referem à distribuição e ao fluxo de dados entre diferentes elementos de processamento fisicamente separados, o foco de atenção em IAD volta-se para aspectos de interação, cooperação (ou seja, distribuição dinâmica do controle e das ações) e para o fluxo de conhecimento entre unidades logicamente distintas. Não obstante, pode-se afirmar que as pesquisas em IAD foram significativamente estimuladas pelo progresso nas tecnologias de sistemas distribuídos. Atualmente, as aplicações de IAD são as mais diversas, incluindo visão computacional, sistemas de informação geográfica, controle de tráfego aéreo, ambientes inteligentes de aprendizagem, automação de escritórios, gerenciamento de redes etc.

O suporte do modelo para a concepção de um sistema de IAD dá-se pelo mapeamento das entidades centrais das descrições para agentes computacionais com a responsabilidade de, por meio de interação coordenada, suportar o planejamento e as decisões (*a priori*, buscando otimização do plano ou, em tempo real, buscando sua adaptação a novos eventos) que afetam esse planejamento. Em outras palavras, assim como há *frames* de decisão e *frames* de recurso, existem agentes decisão e agentes recurso. Os agentes decisão atuam como representantes/assistentes dos usuários humanos com poder decisório, buscando viabilizar a decisão referente às suas atividades associadas, levando em conta o estado atual do plano e dos recursos existentes, ou propondo soluções alternativas. Os agentes recurso encapsulam o conhecimento relativo ao estado de alocação do recurso correspondente, podendo alterá-lo a partir de eventos externos e/ou da interação (negociação) com os agentes decisão e outros agentes recurso.

Como seqüência a este trabalho, os autores pretendem evoluir o modelo apresentado em direção ao paradigma da **Inteligência Artificial Distribuída**, objetivando desenvolver um método que permita a modelagem de sistemas de planejamento para alocação de recursos para a produção. ♦

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASAGLIA, G.; GUIDA, M.; TREANOR, L.C. Supporting industrial enterprise decision making: a new generation of systems in Pirelli. PROCEEDINGS OF THE IFIP WG5.7 WORKING CONFERENCE ON EVALUATION OF PRODUCTION MANAGEMENT METHODS, 1994, Gramado, Brasil. Amsterdam, North-Holland, 1994. p.87-96
- CORREA Filho, M. *A arquitetura de diálogos entre agentes cognitivos distribuídos*. Rio de Janeiro, 1994. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- DOUMEINGTS, G.; CHEN, D.; MARCOTTE, F. Concepts, models and methods for the design of production management systems. *Computers in Industry*, Amsterdam, v.19, n.1, p.89-111, abr. 1992.
- FIKES, R. & KEHLER, T. The role of frame-based reasoning. *Communications of the ACM*, New York, v.28, n.9, p.904-920, set. 1985.
- HACKATHORN, R. & KEEN, P. Organizational strategies for personal computing in decision support systems. *MIS Quarterly*, v.5, n.3, sep. 1981.
- HARMON, P. & KING, D. *Artificial intelligence in business*. New York, John Wiley, 1985. 283 p.
- HULL, R. & KING, R. Semantic database modeling: survey, applications, and research issues. *ACM Computing Surveys*, New York, v.19, n.3, p.201-260, set. 1987.
- KELLER, R. *Tecnologia de sistemas especialistas — desenvolvimento e aplicações*. São Paulo, Makron Books, 1991. 292 p.
- KOSANKE, K. CIMOSA — a European development for enterprise integration — Part 1: An overview. ENTERPRISE INTEGRATION MODELLING: PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE. London, England, 1992. p.179-188
- LUTHERER, E.; GHROUD, S.; MARTINEZ, M.; FAVREL, J. Modelling with CIMOSA: a case study. PROCEEDINGS OF THE IFIP WG5.7 WORKING CONFERENCE ON EVALUATION OF PRODUCTION MANAGEMENT METHODS. 1994, Gramado, Brasil. Amsterdam, North-Holland, 1994. p.323-336
- MINSKY, M. A framework for representing knowledge. In: WINSTON, P.H. *The psychology of computer vision*. New York, McGraw-Hill, 1975.
- OLIVEIRA, F.M. *Inteligência artificial distribuída*. ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA, 4. Canoas - RS, Itajaí - SC, Londrina - PR. *Anais*. Canoas, SBC, 1996.
- OLIVEIRA, J. Palazzo M. de & WALTER, C. Time aspects in the manufacturing decision environment. 10th ISPE/IFAC INTERNATIONAL CONFERENCE ON CAD/CAM, ROBOTICS AND FACTORIES OF THE FUTURE: CARS & FOF '94. Ottawa 1994. p.21-24
- SPRAGUE, R. & CARLSON, E. *Building effective decision support systems*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1982.
- VERNADAT, F.B. CIMOSA — a European development for enterprise integration — Part 2: Enterprise modelling. ENTERPRISE INTEGRATION MODELLING: PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE. London, England, 1992. p.189-204
- VLIESTRA, J. The architectural framework and models of CIMOSA. PROCEEDINGS OF THE IFIP WG5.7 CONFERENCE ON ADVANCES IN PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS, 1991. p.15-26