

UMA ESTRATÉGIA PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS ATRAVÉS DE UM SISTEMA MULTI-AGENTES

Ricardo M. Bastos⁺, Flávio M. de Oliveira⁺, José Palazzo M. de Oliveira^{*}

⁺ Instituto de Informática
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Porto Alegre - RS - Brasil

^{*} Instituto de Informática
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre - RS - Brasil

Resumo

O objetivo deste trabalho é a apresentação de um modelo multi-agentes para a alocação de recursos em ambiente de produção. Neste modelo, são considerados os aspectos temporais envolvidos e o sincronismo exigido no processo em função da utilização compartilhada dos recursos pelas diversas atividades produtivas. Neste artigo são descritos as classes de agentes envolvidos no processo, seus inter-relacionamentos e uma arquitetura de referência. Além disto, é introduzida a utilização da técnica de redes de planejamento como estratégia para nortear o processo de programação das atividades, de modo a assegurar o cumprimento do *deadline* de um evento de produção.

Palavras-chave: Inteligência Artificial, Sistemas Colaborativos, Sistemas Distribuídos

1. INTRODUÇÃO

Um sistema de produção pode ser caracterizado pelos seus produtos, pelos materiais consumidos, componentes ou submontagens utilizados nos produtos, pelas operações de produção e pelos recursos de produção alocados a estas operações. Os produtos nada mais são do que o resultado dos esforços do sistema como um todo. Durante o processo produtivo ocorre o consumo de materiais e a utilização de recursos de produção. Estes recursos de produção 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. Os recursos de produção essencialmente são as máquinas, equipamentos e mão-de-obra disponíveis no sistema produtivo, os quais possuem capacidades limitadas.

Qualquer processo de planejamento da produção deve considerar basicamente: (i) os roteiros de produção de cada item final - conjunto de atividades necessária a fabricação do item, apresentando as relações de precedência a serem observadas na execução das mesmas, (ii) os recursos a serem utilizados em cada atividade prevista nos roteiros, (iii) os limites de capacidade de cada recurso, (iv) os tempos de execução de cada atividade - para cada item relacionado aos recursos utilizados, (v) os tempos de preparação dos recursos e (vi) as datas de entrega de cada item (*deadline*).

Tendo em vista estes aspectos, a pergunta a ser respondida a cada variação de demanda representada por um determinado evento, como por exemplo, uma ordem de produção é "existe capacidade de fabricação para o atendimento das novas demandas pelos produtos fabricados pela empresa?". Uma vez que toda e qualquer atividade de produção consome recursos, a resposta a esta pergunta, em última análise, deve levar em conta se existem recursos disponíveis a serem aplicados nos processos produtivos destes produtos,

considerando o sincronismo temporal na alocação destes recursos e suas capacidades individuais.

Considerando esta visão do problema, pode-se concluir que a complexidade no processo decisório do planejamento da produção encontra-se na busca de um nível de utilização ideal dos recursos, o que implica fundamentalmente na busca da melhor alocação de recursos a cada momento visando atender as demandas existentes. Tendo em vista a necessidade de descentralizar as decisões na alocação de recursos, o problema de planejamento transforma-se em um processo distribuído em que cada participante decide onde os recursos locais serão utilizados e em que momento.

Para solucionar este problema, propomos a utilização do paradigma de multi-agentes. Um agente pode ser visto como sendo uma entidade com capacidade de resolução de problemas encapsulada, tendo as seguintes propriedades [JEN 96a]:

- autonomia: os agentes executam a maioria de suas atividades para solução de problemas sem a intervenção direta, tanto humana, como de outros agentes. Possuem controle total sobre suas ações e estado interno;

- habilidade social: agentes interagem (quando julgam apropriado) com outros agentes artificiais ou humanos, de modo a completarem a resolução de seus problemas, ou ainda para auxiliarem aos outros no cumprimento de suas atividades. Isto requer que os agentes tenham um mínimo de capacidade para comunicar seus requisitos aos outros e um mecanismo interno para decidir *quando e quais* as interações são apropriadas;

- capacidade de reação: os agentes percebem o seu ambiente e reagem de modo oportuno as mudanças que nele ocorrem;

- capacidade pró-ativa: agentes não atuam simplesmente em resposta ao seu ambiente, mas demonstram oportunismo, comportamento direcionado a objetivos e tomam iniciativas quando apropriado.

2. MODELO DE REFERÊNCIA

Para a definição do modelo de planejamento para alocação de recursos proposto é utilizado como referência o CIMOSA. O referencial CIMOSA (Computer Integrated Manufacturing - Open System Architecture) é um projeto ESPRIT. O consórcio AMICE (European CIM Architecture Consortium), formado por um grupo de 22 Companhias européias, Universidades e Centros de Pesquisa, no escopo do projeto ESPRIT, tem desenvolvido, validado e verificado, desde o ano de 1986, esta proposta [KOS 92] [VER 94]. Entre as classes de objetos definidas no CIMOSA, para o desenvolvimento deste modelo considera-se de interesse as seguintes:

- a) **Recursos:** um recurso é um objeto empresarial usado para suportar a execução de uma ou mais atividades, tais como pessoas, máquinas, equipamentos, computadores, sistemas de banco de dados, etc. São divididos em duas subclasses: **recursos passivos** e **recursos ativos**. Recursos passivos são objetos empresariais que não são capazes de executar qualquer ação, tais como ferramentas, automóveis, etc. Recursos ativos são identificados como sendo **Entidades Funcionais**, que são capazes de executar as Operações Funcionais. Entidades Funcionais podem receber, processar, enviar e armazenar informações. Exemplos de recursos ativos são robôs, máquinas de comando numérico, operadores, etc.

b) **Evento**: entende-se por evento todos os acontecimentos do mundo real ou requisições empresariais que exijam a execução de um determinado conjunto de ações. São exemplos de Eventos os pedidos de clientes, ordens administrativas, evidências de falhas em máquinas, etc. Visando facilitar a definição do modelo proposto, os eventos serão divididos em três categorias: (i) evento de produção, (ii) evento interno e (iii) evento perturbação. Evento de produção corresponde aos eventos capazes de dispararem um Processo do Domínio. Evento interno são os eventos gerados como solicitação de propostas temporais entre os agentes internos componentes do modelo conforme será examinado na sequência deste trabalho. Enfim, os eventos perturbação são identificados como todos os acontecimentos imprevistos capazes de influenciarem o comportamento do processo produtivo, tais como atrasos de fornecedores, falta de matéria-prima para produção, falta de energia elétrica, quebra de máquinas e equipamentos, falta de mão-de-obra, etc.

c) **Processos do Domínio**: Os Processos do Domínio podem ser decompostos funcionalmente em **Processos do Negócio** e **Atividades Empresariais**. Os Processos de Domínio são disparados diretamente pelos Eventos, os quais podem ser externos ou internos ao domínio. Ao ser disparado um Processo de Domínio, tem início o processamento do respectivo conjunto de **Regras de Procedimento (RP)**. As Regras de Procedimento definem a sequência lógica dos Processos do Negócio e Atividades Empresariais dentro do Processo do Domínio.

d) **Processos do Negócio**: são processos definidos pelos usuários que podem ser reutilizados por todo o modelo. Um Processo do Negócio é composto por uma ou mais Atividades Empresariais sequenciais ou paralelas.

e) **Atividades Empresariais**: ou simplesmente atividades, correspondem a tarefas elementares das funcionalidades de uma empresa, e que são normalmente executadas sob restrições. As atividades empresariais requerem alocação de tempo e recursos para sua execução. Uma mesma Atividade Empresarial pode ser compartilhada por diferentes Processos do Negócio, não havendo qualquer hierarquia ou relação proprietária entre ambos.

f) **Operações Funcionais**: são unidades de trabalho similares a primitivas (tais como, perfure um buraco, movimente uma peça, etc). Sob o ponto de vista funcional, correspondem a ações elementares executadas pelas Entidades Funcionais.

3. ESTRATÉGIA PARA A GERAÇÃO DO PLANEJAMENTO PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS

Considerando os aspectos abordados na primeira seção deste artigo e objetivando encontrar uma solução para o problema de alocação de recursos através do paradigma de multi-agentes, faz-se necessário a definição de uma estratégia capaz de propiciar a descentralização na tomada de decisão e garantir a autonomia de cada um dos agentes envolvidos, de acordo com sua função e nível hierárquico.

A estratégia proposta trata cada objeto de um evento de produção como se fosse um projeto independente. Para cada evento de produção, como por exemplo, a ordem de produção para um lote de um produto qualquer, tem-se um conjunto de atividades que podem ser realizadas sequencialmente ou concorrentemente. Estas atividades necessitam de recursos para serem executadas, sendo que estes recursos são compartilhados por todos os projetos em

que a organização se envolve. Cada atividade deve ser planejada considerando-se o seu tempo estimado de execução e a disponibilidade dos recursos necessários. Todo este planejamento deve ser feito de modo a respeitar o *deadline* para a conclusão do projeto.

Em um projeto existem algumas atividades que são consideradas como críticas sob o ponto de vista temporal. Tais atividades compõem o chamado caminho crítico em uma rede PERT¹. Em uma rede PERT, a soma dos tempos de execução das atividades componentes do caminho crítico definem o tempo total a ser despendido para a realização do projeto, permitindo a determinação do instante em que o mesmo estará concluído.

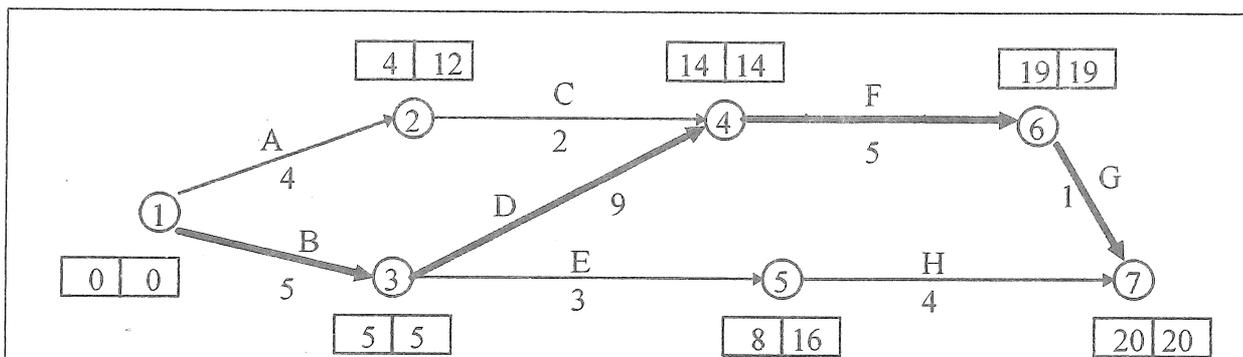


Figura 1a - Rede PERT Inicial

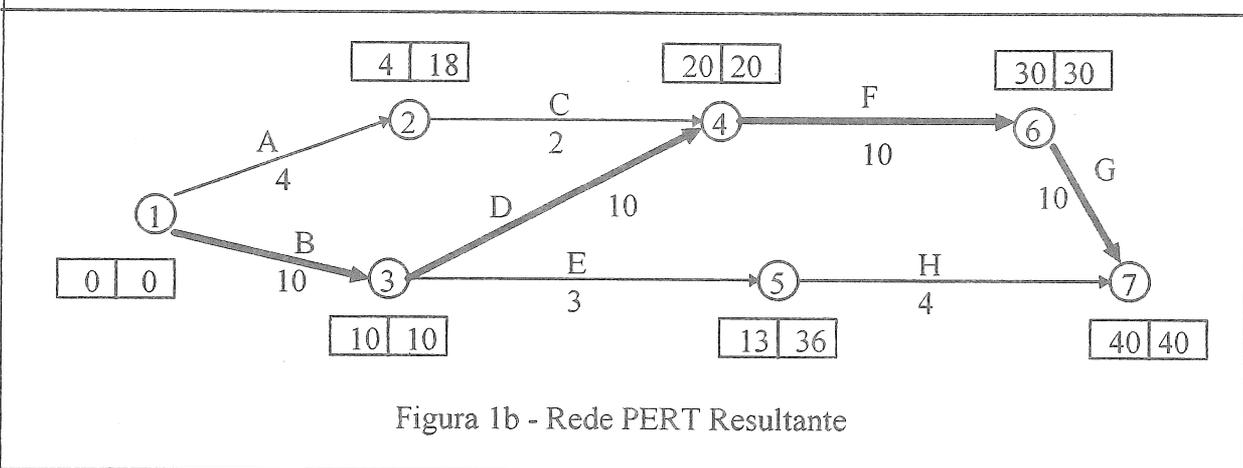
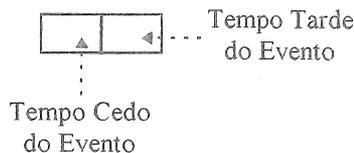
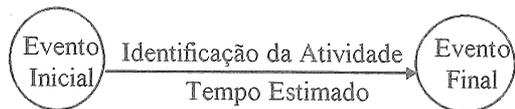


Figura 1b - Rede PERT Resultante

Legenda:



¹ PERT (Program Evaluation and Review Technique) trata-se de uma técnica para elaboração de uma rede de planejamento que represente graficamente um projeto, apresentando a seqüência do planejamento com as interdependências das atividades [HIR 80]. Para a elaboração da rede deve ser conhecido as atividades componentes do projeto, sua duração estimada e suas relações de precedência.

Desta forma, o planejamento para atendimento a um evento de produção deve iniciar pelas atividades do caminho crítico, de modo a respeitar-se o *deadline* para atendimento ao evento de produção. Para tanto, a programação destas atividades críticas deve ser realizada de modo retroativo. Isto significa que o agente responsável pela última atividade crítica deve ser o primeiro a se programar. Somente após a sua programação, o agente responsável pela anterior a esta atividade crítica pode se programar, e assim sucessivamente.

Conforme o instante em que o evento de produção (*deadline*) deva ser atendido, torna-se possível a criação de folgas virtuais para as atividades do caminho crítico. Para criar esta folga virtual, o início do atendimento ao evento de produção deve ser antecipado, de modo que o tempo entre o início do projeto e o seu término seja maior que a soma dos tempos das atividades componentes do caminho crítico.

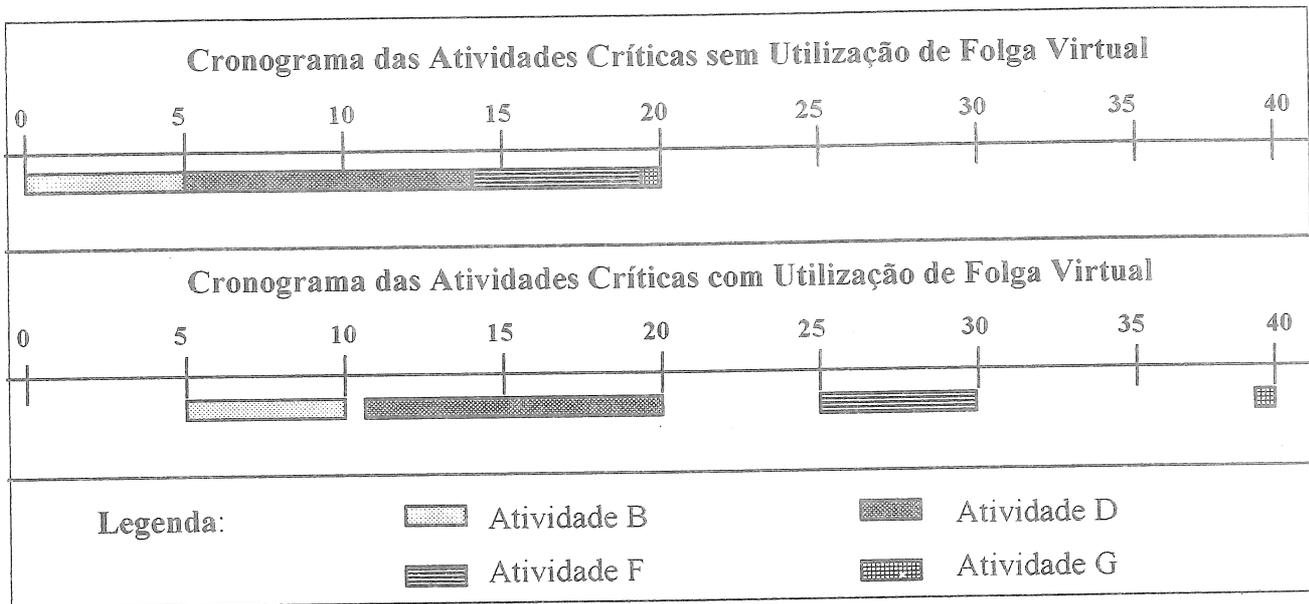


Figura 2 - Cronograma das Atividades Críticas

Considere uma situação envolvendo uma ordem de produção cuja precedência entre as atividades envolvidas seja como representado através da rede PERT da Figura 1a. A soma das atividades do caminho crítico (cujos arcos das atividades estão em negrito) representadas pelas letras B, D, F e G determina que o tempo total para a conclusão do projeto seja de 20 u.t. (unidades de tempo). Se a entrega do objeto da ordem de produção é requerida em 40 u.t., existe uma possibilidade de folga de 20 u.t. Para utilizar esta folga, basta que o início do atendimento a ordem de produção seja antecipado, ou seja, que as atividades críticas programem-se dentro do intervalo de 40 u.t. A Figura 1b apresenta uma possível configuração para a rede considerando a hipótese da completa utilização desta folga na programação das atividades. Em função da retroatividade no processo de planejamento, o agente responsável pela última atividade do caminho crítico, no exemplo representada pela atividade G, pode utilizar completa ou parcialmente esta folga virtual. Este agente programou a execução da atividade no limite do intervalo de 40 u.t, o que implica, de acordo com o apresentado no

cronograma da Figura 2, que a atividade somente será executada no instante 39 de tempo. Para o agente responsável pela atividade F, sobrou uma folga de 20 u.t. para a programação. Este acabou utilizando 9 u.t., iniciando sua atividade no instante 25 de tempo. O responsável pela atividade D programou-a para iniciar no instante 11 de tempo, utilizando 5 u.t. da folga restante. Para a atividade B restaram 6 u.t. de folga, permitindo que o seu início fosse programado para o instante 5 de tempo.

Após a programação das atividades críticas da rede, podem restar intervalos de tempo entre o início de uma atividade e outra, conforme pode ser observado através do cronograma apresentado na Figura 2. Esta folga possibilita que uma atividade do caminho crítico se re programe, caso seja necessário, dentro da restrição estabelecida pelo *deadline* do evento de produção. Como exemplo, pode-se destacar a possibilidade das atividades F ou G virem a reprogramar-se no intervalo entre os instantes de tempo 31 e 38.

A utilização da folga pelas atividades do caminho crítico acaba por aumentar a folga para as atividades componentes das sub-redes formadas pelas atividades não-críticas, como a sub-rede das atividades A e C e a sub-rede das atividades E e H. Por exemplo, a folga utilizável pela sub-rede das atividades A e C era de 8 unidades de tempo, ou seja, tempo tarde² do evento final da atividade C menos a soma dos tempos de A e C. Com a nova configuração da rede passou para 14 unidades de tempo.

A aplicação desta estratégia compreende a criação de uma rede PERT para o planejamento de cada ocorrência de um processo do domínio e de um processo do negócio que envolva três ou mais atividades empresariais não-sequenciais. No primeiro caso, as atividades da rede PERT consistem nos processos do negócio, e no segundo nas atividades empresariais. A definição dos intervalos de tempo em que serão executados os processos do negócio e suas atividades empresariais são determinados pela disponibilidade dos recursos. Na prática, a rede PERT inicial para cada processo do domínio, ao identificar as atividades críticas, determina a ordem de prioridade entre as atividades para fins de planejamento e as restrições temporais a serem considerados. A partir disto, através da ordenação retroativa para planejamento, cada recurso por sua vez pode alocar-se utilizando intervalos temporais que normalmente apresentam folgas em relação ao intervalo de tempo necessário para execução de sua atividade estando garantido o cumprimento da *deadline* para o evento de produção.

Através desta estratégia, torna-se possível o replanejamento dinâmico de um dado recurso em resposta a eventuais perturbações. Isto porque o planejamento de um recurso não é feito em função de um evento particular de produção, mas sim em função de demandas que se apresentem para sua alocação e de suas respectivas restrições temporais. Isto significa que, segundo a ótica de um recurso, os parâmetros necessários para sua alocação compreendem essencialmente o intervalo de tempo que o mesmo dispõe para cumprir as suas operações e as atividades já programadas. Em função disto, deverá tratar de se auto-organizar da melhor forma possível visando atender a esta demanda, mesmo que isto implique em modificações nas atividades já programadas.

² Em uma rede PERT, o tempo cedo de um evento corresponde ao tempo necessário para que o evento seja atingido, considerando-se que não hajam atrasos imprevistos nas atividades antecedentes. Tempo tarde de um evento é a data limite para a realização de um evento. Evento em uma rede PERT, diferentemente do conceito utilizado pelo CIMOSA, constitui um marco que caracteriza determinados instantes de um planejamento, não consumindo tempo nem recursos. Exemplos de evento seriam início da montagem, término da pintura, etc.

Esta perspectiva garante a descentralização do processo de planejamento entre diferentes agentes, requerendo uma arquitetura individual aos mesmos capaz de propiciar a implementação desta estratégia.

4. OS AGENTES COMPONENTES DO MODELO

Os agentes do modelo proposto são divididos em agentes internos ao modelo e agentes externos. Tendo em vista as classes de objetos definidos no CIMOSA anteriormente descritas, entende-se que os processos do domínio, processos do negócio, atividades empresariais e entidades funcionais podem ser associados a agentes. Estes agentes teriam a responsabilidade de participar do processo de planejamento para viabilização do atendimento aos eventos requisitantes destes processos e atividades, bem como pela alocação das entidades funcionais necessárias aos mesmos. Logo, os agentes internos ao modelo compreendem os Agentes Processo do Domínio (APD), Agentes Processo do Negócio (APN), Agentes Atividade Empresarial (AEE) e os Agentes Entidade Funcional (AEF).

Os agentes externos ao modelo são representados pelos Agentes Humanos (AH). Um Agente Humano (AH) corresponde aos usuários envolvidos na interação com o sistema. Estes agentes são responsáveis por informarem os eventos de produção e os eventos perturbação ao sistema.

O modelo de sistema multi-agente proposto é baseado na perspectiva de que cada um dos agentes participantes do planejamento desempenha um papel específico, dotado de um grau diferenciado em termos de autonomia decisória de acordo com o seu nível hierárquico. A arquitetura de cada agente envolvido neste processo é definida procurando espelhar este papel, de acordo com os princípios de descentralização e dinamicidade identificados anteriormente.

A política de negociação é baseada no protocolo de redes de contrato [DAV 88]. Porém, devido as características do processo de negociação entre os agentes no modelo proposto, faz-se necessário a expansão deste protocolo incorporando a possibilidade de um agente emitir uma contraproposta ou solicitar redefinição de um contrato já firmado.

Para suportar a estratégia para a geração do planejamento para alocação de recursos acima apresentada, na seqüência será caracterizado cada um dos agentes e apresentada uma arquitetura de referência.

Agente Processo do Domínio (APD)

Um evento de produção determina a necessidade de uma reação em resposta a sua demanda. Sob o ponto de vista de alocação de recursos, esta resposta corresponde a decisão de atender ou não a demanda originada por este evento. Tal decisão esta baseada na análise de disponibilidade de recursos para a execução das atividades empresariais necessárias ao atendimento deste evento (naturalmente tal análise tem como premissa o interesse em atender a este evento), respeitando as restrições temporais e globais do sistema.

O APD é responsável pelo encaminhamento para planejamento de cada ocorrência de processos do domínio em resposta aos eventos de produção. Consequentemente, faz-se necessário o mapeamento entre os possíveis eventos de produção a que uma organização esta

sujeita e os processos do domínio capazes de atendê-los. A partir deste mapeamento, o APD ao receber um evento de produção através de um AH, seleciona os planos alternativos (compostos por um conjunto de processos do negócio organizados conforme as Regras de Procedimento), solicita uma proposta temporal para execução dos processo do negócio componentes de cada um dos planos aos seus APNs responsáveis, contrata os APNs componentes do plano eleito e confirma ao AH a possibilidade de atendimento ao evento.

Agente Processo do Negócio (APN)

Um APN tem a mesma função de um APD, porém os seus planos (compostos por um conjunto de atividades empresariais organizados conforme as Regras de Procedimento) e negociação envolvem os AAEs. Adicionalmente, um APN deve acompanhar a execução de cada processo do negócio sob sua responsabilidade e comunicar o seu término aos APNs responsáveis por realizarem os processos do negócio seqüenciais. O acompanhamento do processo do negócio implica em receber informações de cada AAE envolvido na execução do processo do negócio comunicando se a atividade empresarial sob sua responsabilidade esta ocorrendo dentro do intervalo de tempo programado. Caso seja constatado algum atraso, o APN deve entrar em negociação com os demais APNs do processo do domínio, visando manter o atendimento ao *deadline* do evento de produção.

Agente Atividade Empresarial (AAE)

Um AAE é responsável por receber um evento interno proveniente de um APN, identificar o conjunto de entidades funcionais habilitadas para o seu atendimento, contatar os AEFs responsáveis pelas mesmas solicitando suas respectivas propostas temporais, avaliar as propostas e contratá-los. Como retorno ao APN, os AEEs devem confirmar ou não a possibilidade de atendimento do evento. Além disto, um AAE também deve evitar que eventuais perturbações prejudiquem o andamento de alguma atividade empresarial que já esteja em execução. Para tanto, quando alguma perturbação (falta de insumos, ingresso de um processo do negócio com prioridade, etc.) vier a ocasionar atraso em uma atividade empresarial, o AAE deve (i) procurar replanejá-la de modo a contornar o atraso ou (ii) o AAE deve negociar com o AAEs responsável pelas atividades empresariais imediatamente subsequentes, solicitando que estes as reprogramem para evitar o atraso do processo do negócio. Eventualmente pode ser interessante a um AAE replanejar-se para atender alguma atividade empresarial para a qual tenha emitido proposta temporal anteriormente. Para tanto, também deve ser encaminhado um processo de negociação junto aos AAEs cujas atividades empresariais tenham relações de dependência.

Agente Entidade Funcional (AEF)

Um AEF é responsável pela execução propriamente dita de uma atividade empresarial. Ao receber um solicitação de proposta de um AAE, deve avaliar a possibilidade de seu atendimento dentro dos limites do intervalo de tempo definido para execução da atividade empresarial. Eventuais perturbações que venham a ocorrer com a entidade funcional (paradas,

mal-funcionamento, etc.) devem ser tratadas pelo AEF no sentido de reprogramar o atendimento as atividades empresariais afetadas. Para tanto, cabe a este módulo contatar os AEFs envolvidos na execução das atividades empresariais afetadas, para que estes se replanejem conjuntamente para o seu atendimento. Esta reprogramação deve levar em conta a eventual folga entre cada atividade empresarial envolvida e as atividades empresariais precedentes e subsequentes.

Arquitetura de Referência

A arquitetura de referência dos agentes, representada na Figura 3, é composta basicamente pelos seguintes módulos:

Receptor de Eventos: este módulo é responsável pelo recebimento dos eventos de ofertas de serviço para as quais o agente esta habilitado. No caso dos AAE, também recebe eventos perturbação capazes de influenciar a execução de uma atividade empresarial.

Biblioteca: armazena os agentes componentes de um plano e suas Regras de Procedimento. No caso específico do AEF, este módulo divide-se em dois módulos: Métodos e Base de Conhecimento. No primeiro contém a especificação do método (envolvendo as operações funcionais) empregado pela AEF na execução da atividade empresarial. No segundo armazena as informações relevantes aos métodos, tais como, tempos de *set-up* e de execução para cada tipo de produto ou serviço, AEF responsáveis pelas atividade preparatórias, tais como *set-up*, etc.

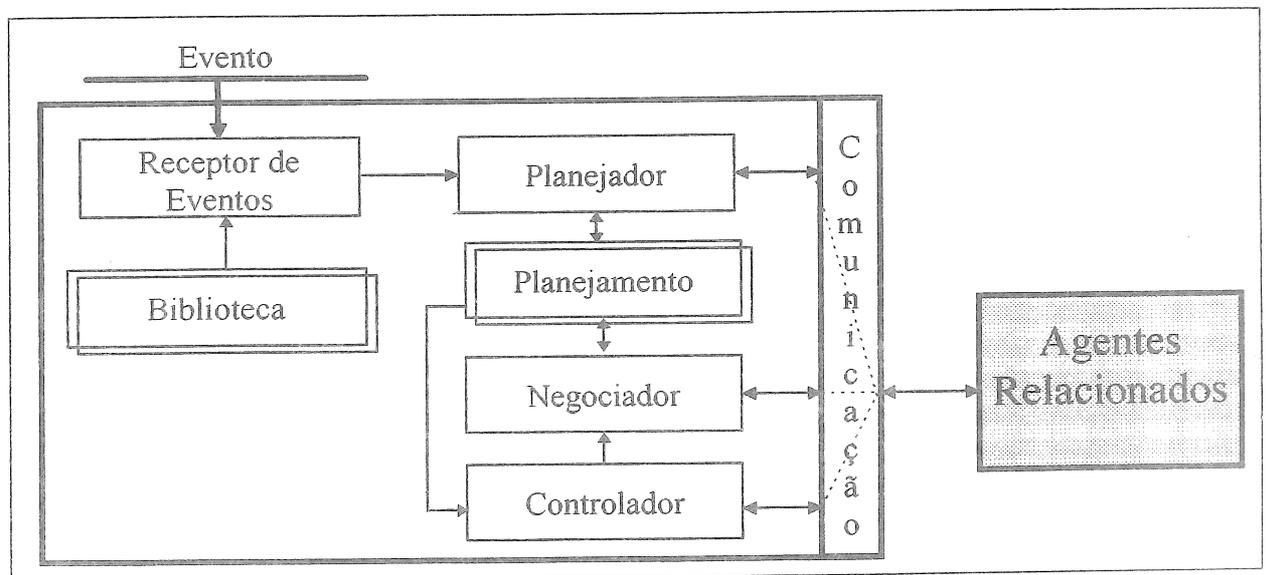


Figura 3 - Arquitetura de Referência

Planejador: no caso dos APDs e APNs, este módulo é responsável pela definição da rede PERT envolvendo os agentes componentes de um plano, conforme a estratégia apresentada na seção 3. Para tanto, envia mensagem para cada agente envolvido no plano (conforme o

caso, APN ou AAE) solicitando os seus tempos de execução. Com base nestas informações, elabora a rede PERT de referência inicial, armazena no módulo Planejamento e solicita que os agentes do caminho crítico elaborem o seu planejamento individual e enviem uma proposta temporal. A partir das propostas temporais dos agentes do caminho crítico, reelabora a rede PERT, armazena no módulo Planejamento e envia mensagens para os agentes não componentes do caminho crítico para que estes também se planejem e enviem suas propostas temporais individuais. Após receber as propostas temporais destes agentes, reelabora novamente a rede PERT e a armazena no módulo de Planejamento. Adicionalmente, este módulo nos AAEs e AEFs e APNs é responsável pela elaboração das propostas temporais.

Negociador: este módulo é responsável pela contratação dos agentes hierarquicamente inferiores que tiveram suas propostas temporais aprovadas. O Negociador inicialmente envia uma mensagem a cada agente componente de um plano solicitando confirmação de sua proposta temporal. Caso algum agente não a confirme e não apresente uma contraproposta, o Negociador deve cancelar o contrato dos demais agentes envolvidos no mesmo plano que já confirmaram suas propostas. Além disto, deve comunicar ao agente solicitante a inviabilidade no cumprimento de sua própria proposta temporal como consequência. A contraproposta de um agente deve ser definida respeitando a eventual folga entre uma atividade (conforme o caso, um processo do negócio ou uma atividade empresarial) e as que a precedem ou sucedem. Caso seja viável o fechamento de contrato, o Negociador armazena os dados relativos ao planejamento no módulo Planejamento. Ao Negociador também cabe a tarefa de procurar evitar que eventuais perturbações prejudiquem o andamento de alguma atividade que já esteja em execução. Para tanto, quando um agente comunica a ocorrência de uma perturbação capaz de ocasionar atraso em uma atividade em andamento, o agente deve negociar com cada agente responsável pela atividade imediatamente subsequente. Esta negociação envolve a solicitação de que cada agente redefina a programação de sua atividade, de modo a permitir a reprogramação da atividade em atraso. Caso o atraso seja inevitável, o AH deve ser comunicado.

Planejamento: nos APDs e APNs, armazena a rede PERT com os processo do negócio ou atividades empresariais respectivamente. Armazena ainda, exceto para os APDs, a programação particular de cada um dos agentes para atendimento aos eventos e os agentes responsáveis pelas atividades subsequentes e precedentes aos mesmos, de modo a subsidiar eventuais negociações de replanejamento.

Controlador: Presente somente nos APNs e AAEs, este módulo deve acompanhar a execução de cada atividade (processo do negócio ou atividade empresarial respectivamente), e comunicar o seu término aos agentes responsáveis pelas atividades seguintes. Caso seja constatado algum atraso, deve ser comunicado ao módulo Negociador para que o mesmo negocie com os demais agentes, conforme acima apresentado.

5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho é a apresentação de um modelo multi-agentes para a alocação de recursos em ambiente de produção. São descritos as classes de agentes envolvidos no processo, seus inter-relacionamentos e uma arquitetura de referência. Além disto, é introduzida a utilização de técnicas de redes de planejamento do tipo PERT como estratégia a

ser utilizada para nortear o processo de programação das atividades, de modo a assegurar o cumprimento do *deadline* de um evento de produção.

A principal contribuição deste trabalho compreende: (i) a definição de uma estratégia de planejamento para alocação de recursos baseada no paradigma de multi-agentes que considere os aspectos temporais envolvidos, o sincronismo exigido no processo em função da utilização compartilhada dos recursos pelas diversas atividades produtivas e o tratamento as perturbações em tempo real; (ii) a definição e especificação de uma arquitetura hierárquica multi-agente com capacidade para suportar esta estratégia e simplificar e formalizar este tipo de problema.

Trabalhos relacionados como [JEN 96a] [JEN 96b] [FON 96] [RAB 95a] [RAB 95b] estão concentrados sobre aspectos arquiteturais e metodológicos, problemas de controle e técnicas de negociação envolvidos em sistemas multi-agentes. O diferencial de nossa abordagem esta na fato de apresentarmos uma estratégia formal de solução ao problema de planejamento para alocação de recursos sob a luz do paradigma de agentes da Inteligência Artificial Distribuída, antes do tratamento dos aspectos investigados por estes autores. Tal perspectiva apresenta condições para a proposição de um modelo de sistemas multi-agentes que de fato represente a realidade imposta a natureza do problema em questão.

Trabalhos futuros envolvem a especificação rigorosa de protocolos para a comunicação entre os agentes e o detalhamento dos algoritmos envolvidos nos módulos de planejamento e negociação descritos na arquitetura especificada, que em última análise implementam a estratégia proposta para alocação de recursos.

BIBLIOGRAFIA

- [DAV 88] DAVIS, R. & SMITH, R.G. Negotiation as a Methaphor for Distributed Problem Solving. In: BOND, A.H.; GASSER, L. (Eds.) *Readings in Distributed Artificial Intelligence*. San Mateo: Morgan Kaufmann, p. 333-356, 1988.
- [FON 96] FONSECA, J.M.; OLIVEIRA, E. & STEIGER_GARÇÃO, A. MACIV - A DAI Based Resource Management System. In: *THE PRACTICAL APPLICATION OF INTELLIGENT AGENTS AND MULTI-AGENT TECHNOLOGY*, 1., London, UK. *Proceedings*, 1996.
- [HIR 80] HIRSCHFELD, H., *Planejamento com PERT-CPM e Análise do Desempenho*, São Paulo, Atlas, 1980.
- [JEN 96a] JENNINGS,N.R. et ali. Using intelligent agents to manage business processes. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRACTICAL APPLICATIONS OF INTELLIGENT AGENTS AND MULTI-AGENTE TECHNOLOGY (PAAM96)*, *Proceedings*, 1996.
- [JEN 96b] JENNINGS,N.R. et ali. Designing and Implementing a Multi-Agent Architecture for Business Process Management. In: *WORKSHOP ON AGENTS THEORIES, ARCHITECTURES AND LANGUAGES (ATAL-96)*, *Proceedings*, 1996.
- [KOS 92] KOSANKE, K. CIMOSA - A European development for enterprise integration - Part 1: an overview. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENTERPRISE INTEGRATION MODELING*, 1., 1995, London. *Proceedings*, p. 179-188, 1992.
- [RAB 95a] RABELO, R.; CAMARINHA-MATOS, L.M. HOLOS: a methodology for deriving scheduling systems. In: *BALANCED AUTOMATION SYSTEMS - BASYS'95*, *Proceedings*, p.181-194, 1995.
- [RAB 95b] RABELO, R.; CAMARINHA-MATOS, L.M. A Holistic Control Architecture Infrastructure for Dynamic Scheduling. *Artificial Intelligence in Reactive Scheduling*, Eds. Roger Kerr and Elizabeth Szelke, Chapman & Hall, p. 78-94.,1995.
- [VER 94] VERNADAT, F. Manufacturing systems modeling, specification and analysis. In: *IFIP WG5.7 WORKING CONFERENCE ON EVALUATION OF PRODUCTION MANAGEMENT METHODS*, Gramado, BRS. *Proceedings*, Amsterdam: North-Holland, p.75-83, 1994.