

Organização de Sistemas Multiagentes

Jomi Fred Hübner^{1,2*}, Jaime Simão Sichman^{1†}

¹Laboratório de Técnicas Inteligentes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Luciano Gualberto, 158, tv. 3
05508-900 São Paulo, SP

²Grupo de Inteligência Artificial
Departamento de Sistemas e Computação
Universidade Regional de Blumenau
Campus IV, rua Braz Wanka, 238, Vila Nova
89035-160, Blumenau, SC

jomi@inf.furb.br, jaime.sichman@poli.usp.br

Resumo. Dos quatro aspectos que formam um Sistema Multiagentes (os agentes, a interação entre eles, o ambiente e sua organização), a organização normalmente está somente implicitamente definida no sistema. São raros os sistemas onde existe uma descrição explícita da organização que possa ser lida pelos próprios agentes servindo de fonte nos seus processos deliberativos. Este curso tem, portanto, por objetivo destacar a importância da organização nos Sistemas Multiagentes a partir dos seus principais fundamentos. Para explicar os conceitos, é apresentado um modelo organizacional, o MOISE⁺, que permite a especificação da organização de um SMA.

1. Introdução

Tanto a Ciência da Computação quanto a Inteligência Artificial (IA) têm buscado formas de conceber sistemas que se aproximam da realidade considerando, em geral, as visões que outras áreas do conhecimento têm da realidade. Assim surgiram a orientação a objetos (da Matemática), a representação de conhecimento e raciocínio (da Psicologia e da Lógica), as redes neurais (da Biologia), etc. De forma análoga, a área de Sistema Multi-Agentes (SMA) é influenciada pela Sociologia e, portanto, tem vislumbrado uma concepção de sistema com propriedades que até então somente sociedades possuíam. O estudo de SMA, ao contrário dos paradigmas tradicionais da IA, têm como objeto de estudo a *coletividade* e não um único indivíduo. Desta forma, deixam de ter atenção as iniciativas de compreender e simular o comportamento humano isoladamente, seja mental (IA simbolista) ou neural (IA conexionista), passando o foco da atenção para a forma de interação entre as entidades que formam o sistema (chamadas de agentes) e sua organização. Este paradigma é motivado pela observação de alguns sistemas naturais, nos quais se percebe o surgimento de um comportamento inteligente a partir da interação de seus elementos (Johnson, 2001). Por exemplo, apesar de uma colônia de formigas ser formada por seres simples, pode-se dizer que o formigueiro como um todo é um sistema

*Financiado pela FURB, CAPES (PICDT) e CNPq, bolsa 200695/01-0.

†Parcialmente financiado pelo CNPq, bolsa 301041/95-4, e pelo projeto CNPq/NSF PROTEM-CC MAPPEL, bolsa 680033/99-8.

complexo cujo comportamento é mais inteligente do que os das formigas que o formam; os neurônios são células simples, mas de sua interação e organização emerge um comportamento complexo e inteligente. Estes dois exemplos mostram que a coletividade possui características que não podem ser reduzidas aos componentes que a formam, mas que são essenciais para o comportamento bem adaptado que tais sistemas apresentam.

Entre as características coletivas do SMA incluem-se a *interação* entre os agentes (linguagens e protocolos), o *ambiente* e a *organização*. Sendo que as duas primeiras características têm sido amplamente investigadas na área, este trabalho irá explorar a organização dos SMA. Particularmente, as seguintes perguntas motivaram este trabalho: O que é uma organização exatamente? O que a constitui? Que aspectos são relevantes e devem ser modelados? Como descrevê-la? Onde esta descrição é armazenada (na memória dos agentes ou em uma memória social)?

Este texto está organizado da seguinte forma. A próxima seção apresenta uma introdução geral à área de SMA posicionando o trabalho nesta área. Na seção 3, será desenvolvida uma visão geral de organização a partir dos principais modelos existentes. A seção 4 apresenta o modelo organizacional MOISE⁺ com o objetivo de detalhar e exemplificar o uso de especificações organizacionais para SMA. A seção 5 descreve como um SMA organizado pode ser desenvolvido e implementado. Algumas conclusões e problemas ainda não resolvidos são apresentados na seção 6.

2. Sistemas Multiagentes

A área de SMA estuda o comportamento de um grupo *organizado* de agentes *autônomos* que cooperam na resolução de problemas que estão além das capacidades de resolução de cada um individualmente. Duas propriedades, aparentemente contraditórias, são fundamentais para os SMA: a autonomia dos agentes e sua organização (Briot e Demazeau, 2002). O atributo autônomo significa aqui o fato de que um agente tem sua existência independente dos demais e mesmo do problema sendo solucionado (Weiß, 1999, p. 548). No caso, trata-se de uma autonomia de existência. Para funcionar, um agente não precisa de outros agentes, mesmo que para alcançar seus objetivos ele eventualmente precisará da ajuda de outros.¹ Por outro lado, a organização estabelece restrições aos comportamentos dos agentes procurando estabelecer um comportamento grupal coeso. Muitas das propriedades desejadas nos SMA advém do equilíbrio destes dois opostos, portanto, compreender como estas duas propriedades interagem é uma questão importante (e interessante) no contexto dos SMA.

Tomando um ponto de vista de desenvolvimento de sistemas computacionais, o objetivo da área de SMA passa a ser a definição de modelos genéricos de agentes, interações e organizações que possam ser instanciados dinamicamente dado um problema (estas etapas são brevemente descritas na figura 1)². Dado este ideal de metodologia de desenvolvimento de sistema, esta abordagem apresenta as seguintes características (Alvares e Sichman, 1997):

- os agentes são concebidos independentemente de um problema particular;
- a interação entre os agentes não é projetada anteriormente, busca-se definir protocolos que possam ser utilizados em situações genéricas;

¹Existem outras formas de autonomia, Castelfranchi (1990), por exemplo, define um agente autônomo como aquele que decide quais objetivos adotar.

²A definição mais detalhada de SMA, seus problemas e aplicações podem ser encontradas nas seguintes referências Alvares e Sichman (1997); Bordini et al. (2001); Demazeau e Müller (1990); Ferber (1999); Jennings e Wooldridge (1998); Weiß (1999); Wooldridge (2002).

- a decomposição de tarefas para solucionar um dado problema pode ser feita pelos próprios agentes;
- não existe um controle centralizado da resolução do problema.

Das quais decorrem algumas vantagens:

- Viabilizam sistemas *adaptativos* e *evolutivos*: o SMA tem capacidade de adaptação a novas situações, tanto pela eliminação e/ou inclusão de novos agentes ao sistema quanto pela mudança da sua organização.
- É uma *metáfora natural* para a modelagem de sistemas complexos e distribuídos: em muitas situações o conhecimento está distribuído, o controle é distribuído, os recursos estão distribuídos. E, quanto à modelagem do sistema, a decomposição de um problema e a atribuição dos sub-problemas a agentes permite um alto nível de abstração e independência entre as partes do sistema (Jennings e Wooldridge, 1998).
- Toma proveito de ambientes *heterogêneos* e *distribuídos*: agentes com arquiteturas diferentes, que funcionam em plataformas diferentes, distribuídas em uma rede de computadores, podem cooperar na resolução de problemas. Isto permite o uso das potencialidades particulares de cada arquitetura e, pela distribuição, melhora o desempenho do sistema.
- Permite conceber *sistemas abertos*: os agentes podem migrar entre sociedades, isto é, agentes podem sair e entrar em sociedades, mesmo que desenvolvidos por projetistas e objetivos distintos. Tal abertura permite a evolução e a adaptabilidade do sistema. Esta noção de sistema aberto (baseada, entre outros, em (Bordini, 1994, 1999; da Rocha Costa et al., 1994; Hübner, 1995)) difere da noção adotada, por exemplo, na área de engenharia de software, onde a principal característica de um sistema é aberto é seguir determinados padrões.

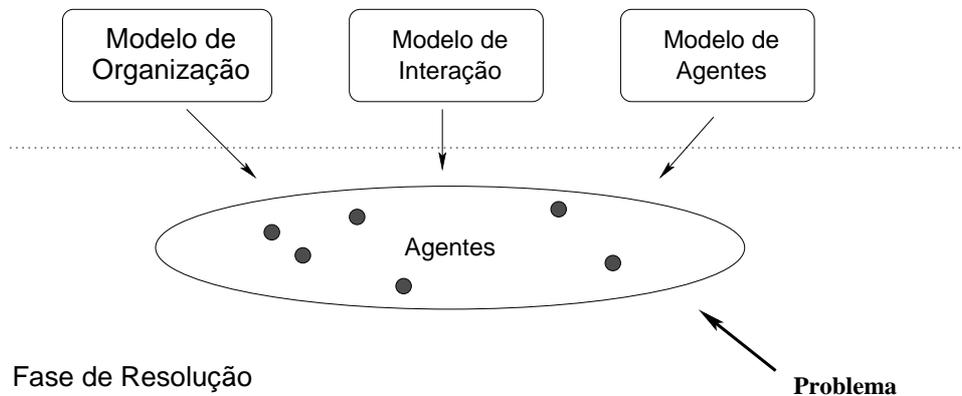
Um componente indispensável em um SMA são os agentes. Dentre as definições possíveis para o termo agente (Franklin e Graesser (1997) discutem várias delas), a mais próxima do cenário apresentado acima é a seguinte:

Um agente é uma entidade lógica ou física à qual é atribuída uma certa missão que ela é capaz de cumprir de maneira autônoma e em coordenação com outros agentes. (Briot e Demazeau, 2002)

O comportamento apresentado pelos agentes para cumprir suas missões normalmente é explicado seguindo dois grandes modelos de funcionamento interno: agentes *reativos* e agentes *cognitivos*.³ Os agentes reativos têm um comportamento muito simples: escolhem suas ações baseados unicamente nas percepções que têm do ambiente (na figura 2 é descrito uma possível arquitetura, entre outras, para este modelo de funcionamento). Considerando este funcionamento bastante simples, este tipo de agente apresenta em geral as seguintes propriedades: somente possui representação de conhecimento implícita no código, ou seja, não tem representação do ambiente (objetos e outros agentes); por não possuir memória, não tem história dos fatos que aconteceram e das ações que executou; não tem controle deliberativo (planejado) de suas ações; em geral, formam organizações do tipo etológico; e as sociedades são formadas por muitos agentes. Nestas sociedades, o interesse está voltado para a emergência de um comportamento global a partir da interação de um grupo grande de agentes (como no exemplo da colônia de formigas).

³Boissier (2002) propõe uma taxonomia mais detalhada para os modelos de agentes. São propostos três modelos gerais: agentes autônomos, interativos (com capacidade de interação com os demais agentes) e sociais (com capacidade de raciocínio sobre os demais agentes). Em cada um destes três modelos, há propostas de (sub) modelos reativos e cognitivos.

Fase de Concepção



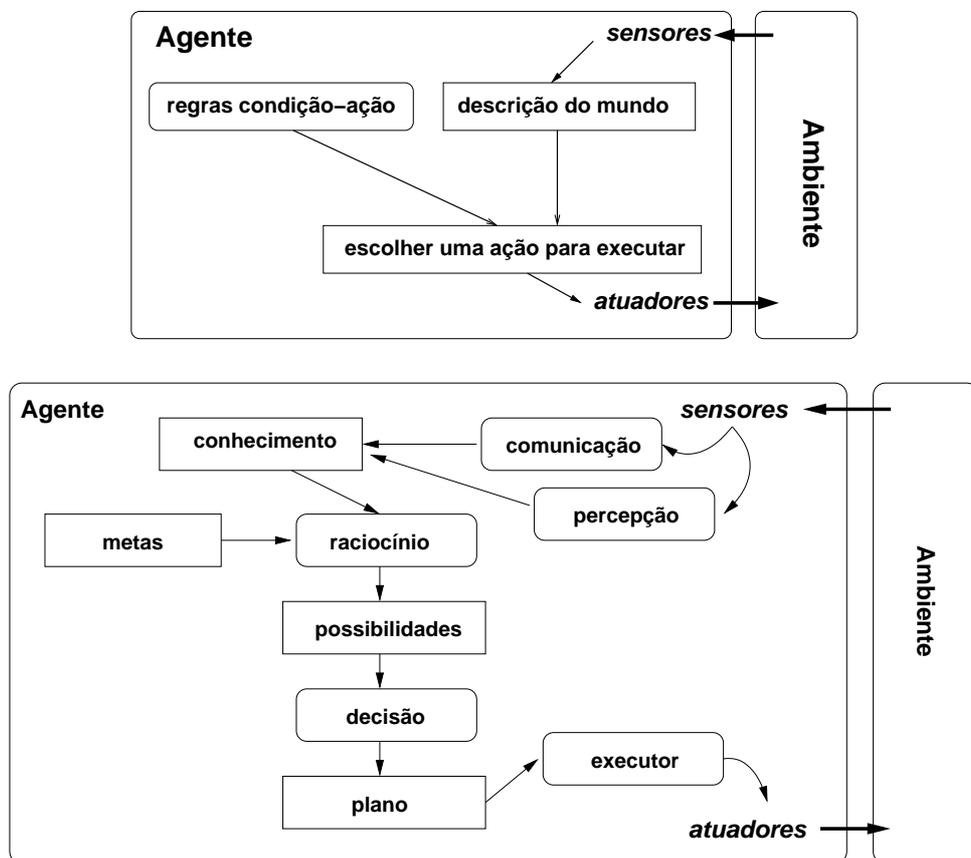
De forma geral, o ciclo de vida de um SMA passa por duas etapas: concepção e resolução (Sichman, 1995). Na concepção são definidos modelos de propósito geral para os agentes, para suas interações e para suas formas de organização. Na resolução, um grupo de agentes adota estes modelos para resolver os problemas que lhe são apresentados. Diferentes tipos de problemas demandam dos agentes diferentes escolhas de modelos. A principal característica é a independência entre a concepção dos modelos e o problema, isto é, os modelos não são desenvolvidos para solucionar um problema particular. Por exemplo, os protocolos contratuais de Smith (1980) são um modelo de interação aplicável em vários tipos de problemas.

Figura 1: Desenvolvimento ideal de Sistemas Multiagentes.

Nos modelos cognitivos, normalmente se considera que os agentes possuem um *estado mental* e funcionam racionalmente, isto é, raciocinam para construir um plano de ações que leva a um objetivo pretendido (figura 2). Estados mentais são representações mentais que estão dirigidas para objetos ou coisas no mundo (Cohen e Levesque, 1987; Searle, 1983). Crer que está chovendo é uma representação mental de um certo tipo (crença) sobre algo do mundo (estar chovendo). Outros tipos de estados mentais são, por exemplo: desejo, intenção, temor, dúvida e ódio. Estes agentes apresentam, portanto, características particulares que os diferenciam de programas convencionais e dos agentes reativos, dentre elas, convém citar as mais importantes: tem autonomia funcional (podem alterar seu funcionamento a fim de adaptarem-se melhor ao seu ambiente (Rao e Georgeff, 1995)); estão continuamente em funcionamento; são sociáveis (possuem a capacidade de comunicação e de modelagem dos outros); possuem representação de conhecimento explícita no código (conhecimento introspectivo); o mecanismo de controle é deliberativo, ou seja, o agente raciocina sobre que ações realizar; tem história; e normalmente, as sociedades são formadas por poucos agentes.

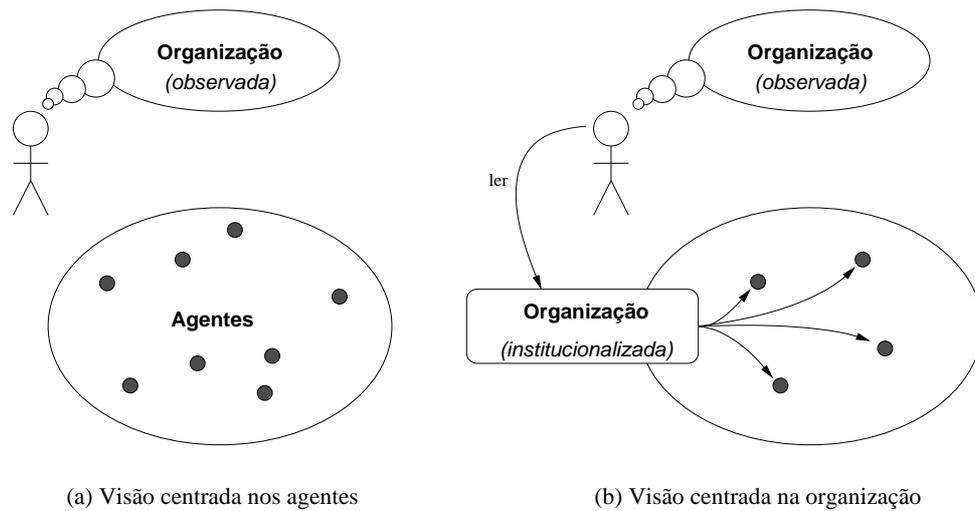
3. Organização em Sistemas Multiagentes

A noção de organização é facilmente percebida ao nosso redor. Por exemplo, o usuário de uma mesa de trabalho sabe se ela está bem organizada ou não, a organização de um grupo de onze pessoas jogando futebol é que o diferencia de um grupo de onze pessoas quaisquer, uma empresa é um sistema que somente existe como sendo organizado, até mesmo o conceito de “ser vivo” passa pelo conceito de organização (Romesín e García, 1997). A partir destes exemplos, é possível inferir o propósito principal que a organização tem nos sistemas: fazer com que sua finalidade seja facilmente mantida. Enquanto parece simples caracterizar um sistema



No diagrama de cima, a arquitetura proposta por Russel e Norvig (1995) para o modelo reativo de agente é ilustrada. O comportamento do agente é determinado unicamente pela percepção do ambiente e por um conjunto fixo de regras. Normalmente se pode dizer de um agente reativo: “o agente percebeu y e portanto fez x ”. Para o modelo cognitivo, tem-se no diagrama de baixo a arquitetura proposta por Demazeau e Müller (1990): o conhecimento (um tipo de estado mental) que o agente possui é formado a partir da sua percepção do ambiente e da comunicação com outros agentes. Dado este conhecimento e uma meta (outro tipo de estado mental), o agente gera um conjunto de possíveis planos que atingem esta meta. Dadas estas possibilidades, o agente delibera sobre o melhor plano a ser executado. Aqui se pode dizer que “o agente fez x porque tem por objetivo y e x faz parte de um plano que leva à satisfação de y ”. Obviamente esta diferença entre as arquiteturas somente pode ser percebida olhando-se “dentro” dos agentes, somente pela observação do comportamento não se pode dizer se um agente é reativo ou cognitivo.

Figura 2: Duas arquiteturas clássicas de agentes.



Em (a) a organização existe (explícita ou implicitamente) somente dentro dos agentes, um observador do SMA não tem acesso a ela e somente pode criar uma visão subjetiva de tal organização a partir da observação do comportamento do sistema. Em (b), além da organização observada, existe uma descrição explícita da organização e tal descrição está fora dos agentes. Um observador do sistema pode, portanto, conhecer a organização do sistema tanto consultando tal descrição quanto contruindo uma descrição subjetiva por meio de observação.

Figura 3: Pontos de vista para organização de um SMA.

como mais bem organizado com base no modo como mantém e busca sua finalidade, definir o que é uma organização, o que a constitui, quais suas formas e estruturas não é uma tarefa tão simples. Porém, a definição precisa da constituição de uma organização é pré-condição para que o projetista do SMA ou do grupo de agentes que lhe dá forma possam raciocinar sobre ela, seu desempenho e, eventualmente, tomar a iniciativa de alterá-la.

A literatura de SMA apresenta várias definições para organização, algumas destas são apresentadas a seguir classificadas segundo a sugestão de Lemaître e Excelente (1998). Eles propõem a existência de dois pontos de vista para a compreensão do que é a organização de um grupo de agentes: *centrado nos agentes* e *centrado na organização*. Na primeira abordagem, o SMA não possui uma representação explícita de sua organização, tal representação está distribuída nos seus agentes. Um observador ou um agente da sociedade somente pode inferir uma descrição subjetiva da organização, isto é, uma descrição *construída* por ele mesmo a partir da observação do comportamento dos agentes de tal sociedade (figura 3). Esta descrição subjetiva da organização será chamada de *organização observada*. Por exemplo, pode-se apenas *observar* a organização de um formigueiro, não se pode obter uma descrição única da sua real organização porque tal organização está distribuída e implícita no DNA das várias formigas do formigueiro.

No segundo ponto de vista, a organização existe objetivamente, isto é, o observador pode *obter* uma descrição da organização que a sociedade está adotando sem precisar observar seu comportamento ou mesmo considerar os agentes que a compõem. Esta descrição será chamada de *organização institucionalizada*. Por exemplo, em uma escola a descrição de sua organização existe fora dos agentes na forma de manuais de procedimentos, organogramas, etc. É claro que, mesmo possuindo uma organização institucionalizada, um observador deste segundo tipo de sociedade, eventualmente um dos seus agentes, pode construir uma descrição subjetiva desta

última a partir da observação de seu comportamento.⁴

Se do ponto de vista de um observador externo ao SMA podem existir duas situações, do lado dos agentes que formam a sociedade também podem ser concebidas duas situações: uma onde os agentes são capazes de explicitamente representar uma organização e outra onde os agentes não são capazes disto. O fato dos agentes terem ou não uma representação interna de sua organização não implica que sua sociedade tenha ou não uma organização institucionalizada. Portanto, propõe-se estender a classificação proposta por Lemaître e Excelente (1998) para quatro tipos de sociedade (ilustradas na figura 4).

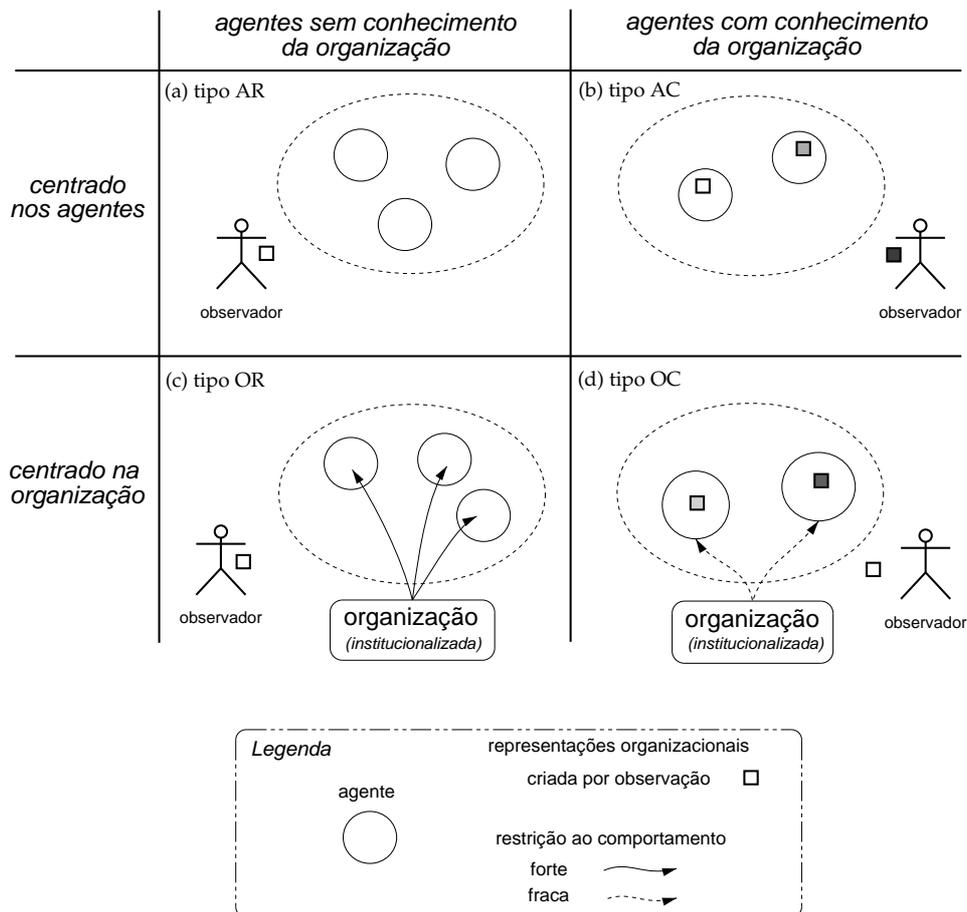
- Agentes que não representam e, conseqüentemente, não raciocinam sobre a organização observada (esse tipo de sistema será chamado de **tipo AR**): visão centrada nos agentes sendo os agentes incapazes de gerar uma representação interna de sua organização. Exemplo: o formigueiro.
- Agentes que representam e raciocinam sobre a organização observada (**tipo AC**): visão centrada nos agentes onde os agentes têm capacidade de representação, eventualmente parcial, de sua organização. Neste caso, os agentes raciocinam sobre uma representação interna de sua organização construída a partir de percepção ou comunicação.
- Agentes que não representam a organização institucionalizada (**tipo OR**): visão centrada na organização com agentes sem capacidade de gerar uma representação de sua organização. Apesar da sociedade ter uma descrição de sua organização, os agentes não a representam internamente de modo explícito. Contudo, os agentes têm seu comportamento parcialmente determinado pela organização estabelecida. Por não terem uma representação da organização, eles não têm capacidade de raciocinar sobre ela e tirar proveito deste conhecimento na realização de suas tarefas. Quem conhece a organização e faz uso dela para determinar o comportamento dos agentes é, por exemplo, o projetista do sistema (Baeijs, 1998).

O tipo de restrições que esse tipo de organização impõe aos agentes será chamado de *restrição forte*, já que os agentes não têm como fugir do comportamento que a organização estabelece.⁵

- Agentes que representam a organização, seja observada ou institucionalizada (**tipo OC**): visão centrada na organização com agentes com capacidade de gerar uma representação de sua organização. Os agentes conhecem sua organização, têm seu comportamento parcialmente determinado por ela, sabem disso, sabem como a organização interfere no comportamento dos demais agentes e utilizam estas informações para melhorar seu funcionamento. Neste tipo e no tipo AC, os agentes podem, por exemplo, assumir o lugar de observador da figura 3 (a) e construir uma descrição subjetiva de sua organização. Entretanto, somente no tipo OC os agentes podem assumir o lugar do observador da figura 3 (b), podendo “ler” a organização institucionalizada. Neste último caso, porém, há que se fazer uma ressalva: enquanto observador do sistema, o agente pode construir uma organização observada distinta daquela obtida objetivamente (figura 4 (d)).

⁴Esta possibilidade contribui para a complexidade das organizações pois o processo de construção da organização observada é subjetivo e portanto não é único, isto é, diferentes agentes podem construir descrições organizacionais distintas a partir da observação do mesmo sistema. Por esta razão, vários sistemas criam uma descrição institucionalizada (objetiva), procurando minimizar estas diferenças.

⁵Considerando apenas o critério da organização, poderia-se dizer que este tipo de sistema não é um SMA como apresentado na figura 1, ou seja, um sistema onde os agentes escolhem uma organização. Trataria-se portanto de um caso de Resolução Distribuída de Problemas (RDP), onde o projetista do sistema decompõe o problema em sub-problemas e cria os agentes para resolvê-los (Alvares e Sichman, 1997). Porém a diferenciação entre RPD e SMA não considera apenas o viés da organização que está sendo considerado nesta classificação.



Em (a) não existe organização dentro do SMA, apenas um observador pode modelar o comportamento do sistema como sendo organizado. Em (b), a organização que existe no SMA é construída pelos próprios agentes a partir da observação do sistema. Por serem construções subjetivas, cada um dos agentes pode construir uma representação organizacional distinta. Na figura, estas diferenças são representadas por quadrados de tons diferentes. Em (c), o sistema possui uma organização, mas os agentes não têm capacidade para conhecer tal organização. E, por último, em (d) tem-se que os agentes podem tanto conhecer a organização institucionalizada quanto a organização observada. Novamente, os agentes podem ter representações distintas devido ao seu processo de percepção.

Figura 4: Tipos de organização.

O tipo de restrições que esse tipo de organização impõe aos agentes será chamado de *restrição fraca*, já que os agentes, por conhecerem a organização institucionalizada, podem fugir do comportamento que a organização estabelece.

Em analogia com a autonomia funcional de um agente (funcionar diferente do que o projetista do agente lhe estabeleceu inicialmente), a *autonomia organizacional* de um agente pode ser definida como sua capacidade de se comportar de modo diferente do estabelecido pela organização. A visão organizacional apresentada permite situar este tipo de autonomia em três casos:

- para as organizações dos tipos AC e AR, não faz sentido identificar se há ou não autonomia organizacional pois não existem restrições organizacionais explicitamente definidas;
- para o tipo OR, os agentes não tem autonomia organizacional. A arquitetura do agente (e a implementação decorrente) não permitem que o agente se comporte de forma diferente da estabelecida pela organização; e
- no tipo OC, onde a organização institucionalizada estabelece uma restrição fraca no comportamento dos agentes, os agentes *podem* ter autonomia organizacional. Em organizações do tipo OC a autonomia organizacional é uma possibilidade, porém não uma necessidade. O fato de conhecer a organização é condição para um agente ter autonomia organizacional, contudo, o agente deve ter capacidade e razões para exercer tal autonomia.

A seguir, alguns modelos organizacionais clássicos são apresentados com o objetivo de tornar mais clara a noção de organização

3.1. Definições centradas nos agentes

Os sistemas formados por agentes reativos são um primeiro tipo de sistema onde se pode perceber claramente o ponto de vista em que a organização não existe explicitamente no sistema mas existe somente como uma construção a partir do comportamento do sistema (uma caso do Tipo AR). Este tipo de sistema é formado por agentes muito simples, em geral com comportamentos básicos disparados pela percepção que têm do ambiente. Ou seja, o desenvolvimento do sistema consiste na definição de comportamentos elementares e espera-se que a partir deles, por meio da interação entre os agentes e o ambiente, venha a surgir (emergir) comportamentos complexos, particularmente, que o sistema venha a apresentar uma organização (Steels, 1990). Por exemplo, no sistema MANTA (Drogoul et al., 1995), onde é simulada a gênese de uma colônia de formigas, observou-se que o formigueiro apresentou estratégias de controle populacional e mecanismos de divisão do trabalho, mesmo que tais comportamentos não tenham sido intencionalmente programados no código das formigas. Um observador do formigueiro pode perfeitamente dizer que as formigas estão organizadas, mesmo que esta organização não tenha sido deliberadamente construída pelas formigas. Evidentemente, esse tipo de organização emergente impossibilita os agentes da sociedade alterarem intencionalmente sua organização, já que não a conhecem.

Mesmo em SMA constituídos de agentes cognitivos, pode-se adotar a visão em que a organização existe apenas nos agentes (caso do Tipo AC). Um exemplo deste tipo de SMA é apresentado por Werner (1989), no qual uma das principais funções da organização em um SMA é tornar a interação entre os agentes mais eficiente. A organização representa certas formas usuais de cooperar, aprendidas pelos próprios agentes ou definidas pelo projetista do sistema. Quando um agente necessita da ajuda de outro agente, por exemplo, todo o processo de conversação

para identificar um possível parceiro e o estado mental dele (as intenções dele, suas crenças, etc.) pode ser direcionado pela organização destes agentes. A organização consiste em um conjunto estruturado de papéis, chamado de estrutura organizacional. Cada papel, por sua vez, é definido pela tupla $\langle I_{rol}, S_{rol}, V_{rol} \rangle$ que determina, respectivamente, o estado de informação I , permissões S e responsabilidades V do papel rol . Quando um agente ag assume o papel rol deve condicionar seu estado de informações I_{ag} às informações do seu papel I_{rol} , seu estado de intenções S_{ag} às permissões do papel S_{rol} e seu modo de avaliação da situação V_{ag} às responsabilidades do papel V_{rol} . Conseqüentemente, o comportamento do agente será restringido pela mudança em seu estado de informações. Com um espaço de busca menor, o agente terá maior eficiência na tomada de decisões. Percebe-se, nesta concepção, que a estrutura organizacional está distribuída na memória dos agentes e somente existe nestas memórias (um caso de organização tipo AC).

3.2. Definições centradas na organização

O ponto de vista centrado na organização apresenta algumas propriedades que o torna mais adequado em vários domínios de aplicação, sendo particularmente útil para o processo de reorganização. Dentre estas propriedades, destacam-se:

- uma organização existe por mais tempo que seus agentes, e sua memória deve ser preservada independentemente dos agentes;
- não é uma tarefa simples obter uma descrição para a organização a partir do comportamento dos seus agentes, principalmente em grupos de agentes reativos. Por exemplo, apesar das formigas estarem organizadas, não podemos saber precisamente que organização é esta, podemos apenas supor qual é. A falta de uma descrição da organização dificulta o raciocínio sobre tal organização;
- separando-se conceitualmente a organização da arquitetura interna dos agentes, torna-se possível raciocinar sobre a organização sem considerar a estrutura e o funcionamento dos agentes, isto é, pode-se projetar organizações em um nível de maior abstração. Por esta razão esta visão é mais adequada em sistemas abertos onde novos agentes podem entrar no sistema e não se conhece a arquitetura de tais agentes.

A descrição explícita da organização de um SMA, necessária na visão centrada na organização, é feita segundo um modelo organizacional (uma “forma de ver” organização), que determina, por exemplo, o que constitui a organização. Alguns modelos clássicos são descritos nas próximas seções.

3.2.1. O modelo AALAADIN

Um modelo de organização de SMA que representa bem o ponto de vista centrado na organização é o proposto por Ferber e Gutknecht (1998). Neste modelo, chamado de AALAADIN, a organização é definida como um conjunto de grupos que possuem uma determinada estrutura. Cada grupo contém um conjunto de papéis necessários ao seu funcionamento e um conjunto de agentes membros (figura 5). Os papéis são representações abstratas para as funções que os agentes disponibilizam. Nenhuma restrição é feita quanto à arquitetura interna dos agentes: um agente é considerado simplesmente como uma entidade ativa e comunicativa que assume papéis nos grupos onde é membro. Portanto, este modelo pode ser utilizado tanto para sociedades Tipo OR quanto Tipo OC. Essa propriedade é comum entre os modelos que seguem a visão centrada na organização.

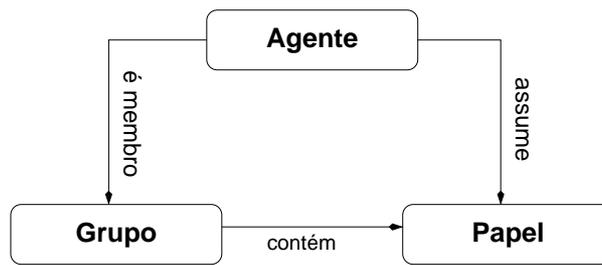


Figura 5: Modelo AALAADIN de organização segundo Ferber e Gutknecht (1998)

Percebe-se que segundo este ponto de vista, surge a distinção entre tipos abstratos de agentes (representados pelos papéis) e instâncias destes tipos (os agentes reais e concretos), um aspecto *estático* e um aspecto *dinâmico* da organização. O termo utilizado por Ferber para designar este aspecto estático de uma organização é estrutura organizacional. No AALAADIN, a estrutura organizacional é representada pelos grupos e papéis, o aspecto dinâmico surge no funcionamento da sociedade quando os agentes entram em grupos assumindo determinados papéis.

3.2.2. O modelo TOVE

Fox et al. (1998) apresentam, através de um modelo organizacional chamado TOVE, uma definição mais detalhada para organizações no contexto empresarial (figura 6). As seguintes entidades são definidas:

Organização Uma organização consiste de várias divisões e subdivisões, um conjunto de agentes alocados nestas divisões, um conjunto de papéis que os agentes assumem e um conjunto de metas.

Papel Papéis são protótipos de funções a serem desempenhadas pelos agentes na organização. A cada papel são associadas as seguintes propriedades:

1. um conjunto de metas que o agente que assume o papel deve buscar,
2. um conjunto de processos que definem como as metas podem ser alcançadas (tais processos são descritos como uma estrutura de atividades),
3. um conjunto de autoridades que o agente necessitará para alcançar as metas (direitos sobre determinados recursos, por exemplo),
4. um conjunto de habilidades que o agente que pretende assumir o papel deve possuir,
5. um conjunto de restrições na execução dos processos, e
6. um conjunto de recursos necessários para o papel ser desempenhado.

Sobre os papéis também existem as seguintes relações:

1. hierarquia, um papel pode ser subordinado a outro (por exemplo quem assume o papel de chefe de divisão é subordinado a quem assume o papel de presidente da empresa), e
2. especialização, um papel pode especializar outro papel e herdar os direitos, obrigações, autoridades, etc. deste último (por exemplo, o papel de atacante especializa o papel de jogador).

Agente Um agente é membro de uma divisão da empresa, assume um ou mais papéis e pode se comunicar com outros agentes caso haja um ligação de comunicação entre eles. Os agentes também realizam atividades e podem consumir determinados recursos na

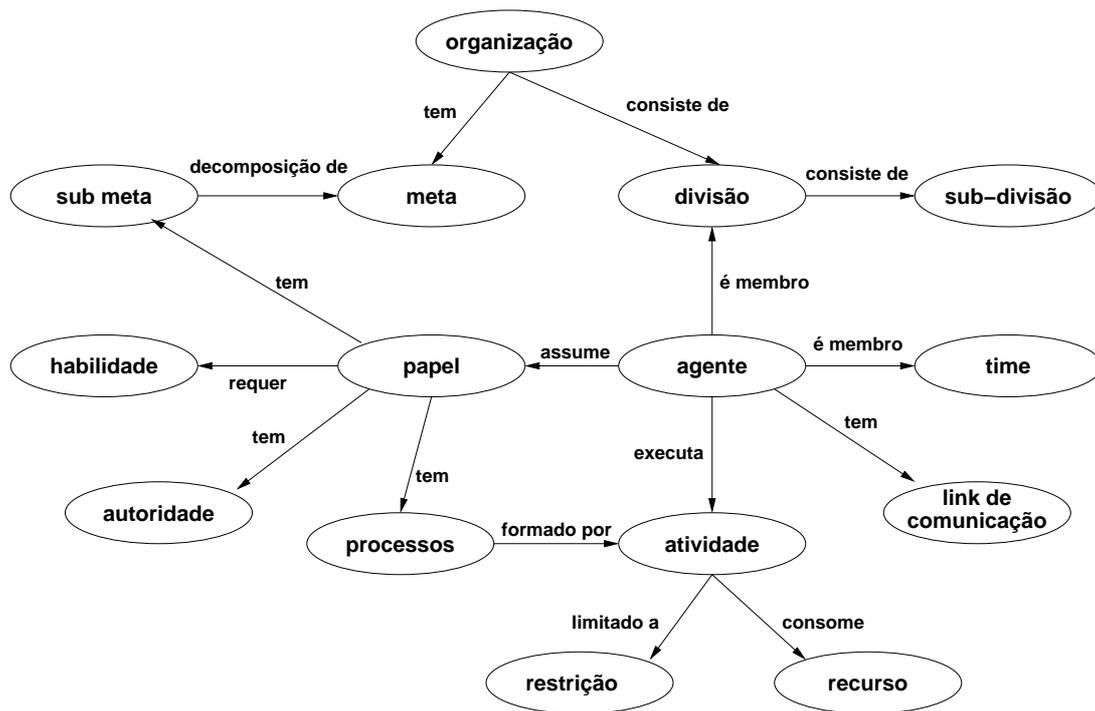


Figura 6: Taxonomia organizacional proposta por Fox et al. (1998)

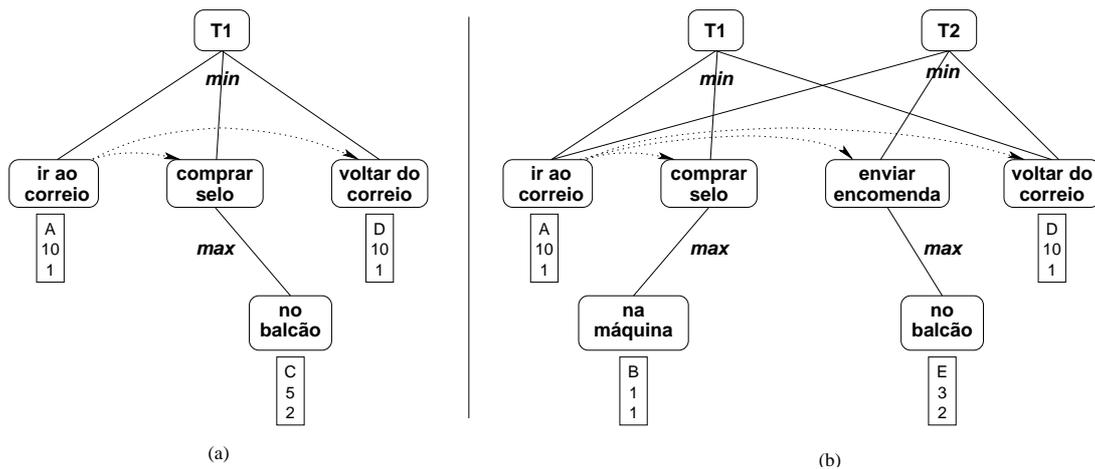
realização destas atividades, porém estão sujeitos a determinadas restrições de comportamento.

Eventualmente os agentes podem formar times para realizar tarefas específicas. Um time tem um tempo de vida menor que uma divisão, sua existência termina quando a tarefa para a qual foi criado for concluída.

3.2.3. Um modelo funcional: TÆMS

Os modelos de organização vistos até aqui procuram especificar vários dos atributos de uma organização, tendo o conceito de papel social uma função central. Uma forma bastante distinta de conceber a organização é o modelo TÆMS (Task Analysis, Environment Modeling, and Simulation), no qual a noção central é a de *tarefa* (Decker e Lesser, 1994; Decker, 1996, 1998; Prasad et al., 1996). Como o nome sugere, o objetivo deste modelo é descrever a estrutura de tarefas de modo a viabilizar a análise e a simulação da organização.

As tarefas podem ser abordadas por três pontos de vista diferentes: objetivo, subjetivo e generativo. A visão *objetiva* considera a estrutura de tarefas completa, real, que resolve um problema em um determinado período de tempo. A visão *subjetiva* é tida pelos agentes que participam na execução da tarefa, ou seja, é a tarefa vista pelos agentes. Em geral os agentes não vêem a tarefa como um todo, mas somente a parte que lhes cabe, aquela que a organização do sistema permite. Apesar do modelo descrever o que os agentes vêem das tarefas, a maneira como eles irão executar os métodos não é relevante. A visão *generativa* contém informações de como gerar várias visões objetivas e subjetivas para a resolução de problemas em um dado domínio. A partir destas visões geradas, pode-se calcular informações mais gerais (estatísticas) sobre a tarefa. Por exemplo, as visões objetivas e subjetivas das figuras 7 e 8 poderiam ter sido geradas, junto com várias outras visões, a partir de uma visão generativa. Com a avaliação das



Em (a) tem-se a visão de um agente que somente conhece a tarefa $T1$ e que somente pode comprar selo no balcão. Em (b), o agente conhece as duas tarefas, mas não tem como utilizar a relação de “facilita” entre elas sendo obrigado a passar na máquina para comprar selo e depois passar no balcão para despachar a encomenda.

Figura 8: Visão subjetiva de uma tarefa no modelo TÆMS.

NLE “ t_x habilita t_y ”, por exemplo, diz que a qualidade de t_y será zero se t_y for executada antes de t_x (comprar o selo antes de ir ao correio) e será a qualidade calculada para t_y caso contrário. A NLE “ t_x facilita t_y ”, diz que a qualidade de uma tarefa será aumentada com um fator f caso as duas tarefas sejam executadas juntas. No caso em que a NLE relaciona tarefas sendo realizadas por agentes diferentes, tem-se a necessidade de coordenação entre estes dois agentes. Percebe-se então que o cálculo da qualidade de uma tarefa depende também do escalonamento utilizado pelos agentes para realizá-las. Embora a representação do TÆMS não tenha o propósito de descrever o escalonamento (e conseqüentemente os compromissos de coordenação), esse tipo de informação pode ser gerado a partir do modelo (Decker e Lesser, 1995, 1992). Resumidamente, a visão generativa gera várias visões objetivas/subjetivas para as quais vários escalonamentos podem ser gerados. A partir destes escalonamentos, é possível avaliar quais estruturas de tarefa são mais adequadas, robustas, rápidas, etc. para um determinado problema.

3.3. Organização como etapa de desenvolvimento de SMA

Em alguns trabalhos na área de SMA, a organização é vista como um instrumento de especificação do sistema, assim como ocorre, por exemplo, com o diagrama de classes da Unified Modeling Language (UML) (Iglesias et al. (1999) apresenta um resumo destas abordagens). O esforço de desenvolver uma metodologia de desenvolvimento de SMA é considerado nas seguintes propostas (somente o aspecto organizacional delas será comentado aqui):

GAIA de Wooldridge et al. (1999). Esta metodologia pretende guiar o projetista de um SMA deste seu levantamento de requisitos até sua implementação. Na figura 9 estão ilustrados os modelos que o projetista deve desenvolver. A organização do sistema é definida por meio dos modelos de papéis e de interação que devem ser definidos na fase de análise. Cada papel, por sua vez, é formado por

- responsabilidades (funções que o agente deve realizar para o sistema, definidas por meio de atividades e protocolos),
- permissões para utilização de recursos,
- atividades (ações que o agente pode realizar sozinho) e

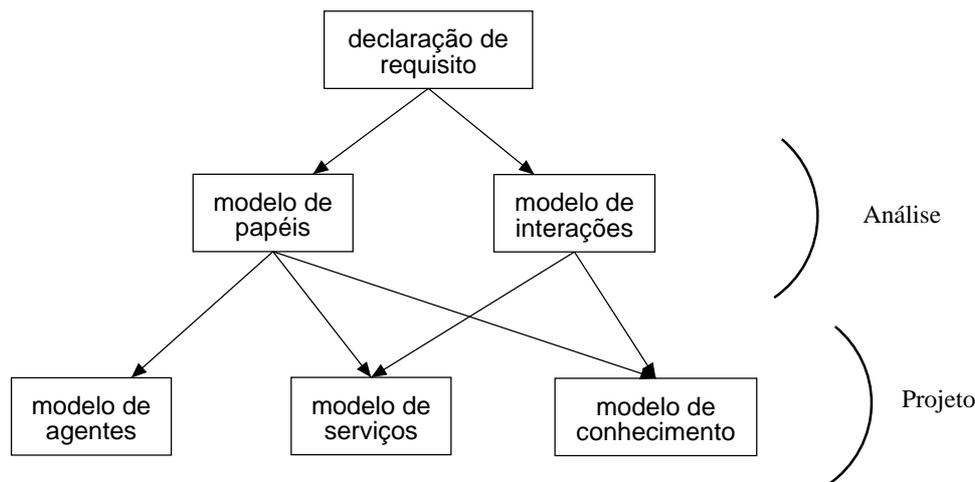


Figura 9: Relação entre os modelos de especificação da metodologia GAIA

- protocolos (como o agente deve interagir com os demais).

AgentUML de Odell et al. (2000). Na proposta AgentUML, ao contrário de criar uma nova notação para SMA, pretende-se estender/adequar os diagramas da UML para suportarem a especificação de SMA. A ênfase destas extensões está na especificação dos protocolos de interação e nos diagramas de colaboração entre os agentes. O aspecto organizacional, principalmente no que se refere à noção de papel, é, por enquanto, superficialmente abordado. Não há, por exemplo, um diagrama organizacional.

MESSAGE de Caire et al. (2001); Garijo et al. (2001). O MESSAGE também tem a UML por base, porém cria novos diagramas que consideram as necessidades específicas dos SMA. Existe, portanto, um diagrama organizacional onde é especificado:

- o propósito da organização (um conjunto de metas que devem ser satisfeitas pelas tarefas);
- estrutura de *workflow* (relação entre as tarefas, suas dependências e dos agentes responsáveis pelas tarefas);
- estrutura organizacional (relação dos papéis e agentes que os assumem);
- entidade de controle (define como se dá a resolução de conflitos);
- recursos da organização; e
- relações organizacionais (utilizadas para formar hierarquias entre papéis, por exemplo).

Percebe-se que o foco principal do modelo está na visão geral do sistema (a estrutura de *workflow* exemplifica este foco), já o modelo GAIA enfatiza a visão local de cada papel.

Porém a *utilização* que estas metodologias fazem da noção de organização difere da noção apresentada no início desta seção. Em geral, nestas metodologias a definição dos papéis serve apenas para que o projetista compreenda melhor o problema, posteriormente este papel é transformado em código. Quando o sistema está em funcionamento, não existe mais a especificação da organização *no* sistema. Portanto, o uso destas metodologias não implicam em uma visão centrada na organização.

3.4. Considerações sobre os modelos organizacionais

Independentemente da posição que a organização assume em relação aos agentes que a compõem (se somente emerge de suas interações ou se existe explicitamente na sociedade), os

modelos de organização desenvolvidos na área de SMA podem ser agrupados em dois grandes grupos (resumidos na tabela 1): aqueles que têm como foco principal os *planos globais* (ou tarefas) do SMA e aqueles que têm foco nos *papéis*.

O primeiro grupo atém-se a problemas tais como especificação de planos globais, políticas de alocação de tarefas, qualidade com que são produzidos os resultados das tarefas e principalmente na *coordenação* da execução destes planos pelos agentes (Decker, 1996; Fox, 1981; Kinny et al., 1994; So e Durfee, 1996; Tambe, 1997; Terabe et al., 1997; Weiß, 1994). A organização é vista como um conjunto de planos globais que leva os agentes a atingirem os objetivos globais. A organização é um tipo de memória onde as melhores práticas de resolução de problemas foram armazenadas (na forma de planos ou tarefas) pelos agentes ou pelo seu projetista.

Um outro grupo de autores prioriza a *estrutura* de relações entre os agentes ou, em um nível maior de abstração, entre os *papéis* que formam a organização (Ferber e Gutknecht, 1998; Fox et al., 1998; Hannoun et al., 2000; Pattison et al., 1987; Stone e Veloso, 1999; Tambe et al., 2001). Os agentes passam a pertencer a grupos ou divisões, a terem relações de autoridade e poder, a terem certos meios de comunicação, etc. Aqui a organização contribui para a satisfação dos objetivos globais na medida que os agentes devem respeitar as responsabilidades dos papéis que assumem. Alguns dos autores deste segundo grupo propõem modelos de organização que abrangem tanto os aspectos estruturais quanto funcionais (Fox et al., 1998; Hannoun et al., 2000; Stone e Veloso, 1999; Tambe et al., 2001).

Retomando a questão que motivou esta seção (“o que é organização?”), a partir dos trabalhos citados, pode-se dizer, de forma ainda genérica e no contexto dos SMA, que

*a organização de um SMA é um conjunto de restrições ao comportamento dos agentes a fim de conduzi-los a uma finalidade comum.*⁷

Estas restrições são aceitas (Tipo OC) ou impostas (Tipo OR) aos agentes quando entram na sociedade e têm por objetivo controlar a autonomia dos agentes buscando produzir um comportamento global direcionado a uma finalidade. Tais restrições ora são descritas estruturalmente (na forma de papéis) ora funcionalmente (na forma de planos).

Considerando que a organização de um SMA tem tal objetivo, constata-se uma terceira forma, normalmente não rotulada de organização, de representar as restrições: por meio de normas sociais, leis, obrigações e direitos (Castelfranchi et al., 1998; Conte e Castelfranchi, 1994; Conte et al., 1999; Dignum e Dignum, 2001).

Enfim, podem ser identificados quatro tipos de *relacionamento* entre os agentes e a sua organização (AR, AC, OR, OC) e a *descrição* desta organização pode basear-se em três componentes: estrutura de papéis, planos globais e/ou normas. Na seção seguinte será apresentado com maior detalhe um modelo organizacional que permite a descrição destes três componentes e que pode ser utilizado nos quatro tipos de organizações.

4. O modelo MOISE⁺

Enquanto a seção anterior permite estabelecer *por quê* um SMA é organizado o quais os principais modelos, esta seção detalha *como* a organização de um SMA pode contribuir na

⁷Um artigo que descreve muito bem esta visão de organização, bem como sua importância na área, é (Dignum e Dignum, 2001).

Tabela 1: Comparação entre algumas propostas de modelos organizacionais

Modelo	<i>Elemento Central</i>	<i>Estrutura organizacional</i>	<i>Papel</i>	<i>Funcionamento da sociedade</i>
visões centradas nos agentes				
<i>Drogoul et al.</i> (MANTA)	agentes	emergente	não existe	determinado pela implementação dos agentes
<i>Werner</i>	papéis	formada por um conjunto de papéis	são restrições sobre o estado mental do agente	determinado indiretamente pelas restrições aos estados mentais dos agentes
visões centradas na organização				
<i>Ferber e Gutknecht</i> (AALAADIN)	papéis	é um conjunto de grupos	são funções sociais	é definido internamente nos agentes
<i>Decker</i> (TÆMS)	tarefas	tarefas e relações entre elas (sub-tarefa, habilita, facilita, ...)	restrições sobre a visão que o agente tem da tarefa	definido pelas tarefas (visões subjetiva dos agentes)
visões mistas				
<i>Fox et al.</i> (TOVE)	papéis	formada por divisões e sub-divisões, agentes, papéis, e metas sociais	é um conjunto de metas, processos, autoridades, habilidades e recursos; são relacionados hierarquicamente	determinado por metas sociais e pelos processos associados aos papéis

manutenção e busca da finalidade. Este detalhamento é feito por meio de uma proposta de modelo organizacional chamado de $MOISE^+$. Este modelo estabelece precisamente quais os componentes que formam uma organização e como eles podem contribuir para o SMA. O $MOISE^+$ é fortemente baseado no modelo MOISE (Hannoun, 2002; Hannoun et al., 2000), que além de apresentar uma visão centrada na organização considera claramente as três formas de representar restrições organizacionais (papéis, planos e normas). Por causa da visão centrada na organização, o $MOISE^+$ possui duas noções centrais: uma *especificação organizacional* (seções 4.1, 4.2 e 4.3) que um grupo de agentes adota formando uma *entidade organizacional* (seção 4.4) para atingir uma finalidade.

Na construção do $MOISE^+$, optou-se por conceber a organização de um SMA como possuindo as três dimensões identificados na seção anterior (seção 3.4): a estrutura (papéis), o funcionamento (planos globais) e as normas (obrigações) da organização. O aspecto estrutural atém-se aos componentes elementares da organização (papéis) e como estão relacionados (ligações entre papéis, grupos de papéis, hierarquias, ...). O aspecto funcional especifica como os objetivos globais podem ser atingidos (planos globais, missões, ...). Por fim, o aspecto deontico liga os dois anteriores indicando quais as responsabilidades dos papéis nos planos globais.

A relação entre estas três dimensões e a forma como contribuem para a finalidade do SMA é detalhada na figura 10. Nesta figura, B representa o espaço de comportamentos possíveis para o sistema e P os comportamentos que conduzem à finalidade do SMA ($P \subset B$). Por *comportamento* de um sistema entende-se suas ações no ambiente dadas as percepções que teve do ambiente. Sendo O o conjunto das percepções possíveis e A o conjunto das ações possíveis para o sistema, um comportamento b (um ponto no espaço de comportamentos) é representado por um mapeamento entre uma seqüência de observações do ambiente (denotada por $(o_1, o_2, \dots) \in O^*$) e uma ação do sistema (denotada por $\alpha \in A$) onde $b : O^* \rightarrow A$.

Na mesma figura, o conjunto E representa todos os comportamentos possíveis em um dado ambiente ($E \subset B$). A estrutura organizacional restringe o comportamento dos agentes àqueles dentro do conjunto S ($S \subset B$), mais precisamente, a cada papel é relacionado um subconjunto de S . Assim, os comportamentos possíveis para os agentes ($E \cap S$) passam a estar mais próximos dos comportamentos desejados (P). Contudo, encontrar P dentro de $E \cap S$ pode ser um problema para os agentes nos casos onde esta intersecção ainda é um conjunto muito grande de comportamentos possíveis. Para ajudá-los nesta busca, a especificação funcional contém um conjunto de planos globais F que têm se mostrado eficientes em conduzir o comportamento dos agentes de um ponto em $(E \cap S) - P$ para um ponto em $E \cap S \cap P$. Neste contexto, a especificação deontica indica que papéis (em S) devem utilizar os comportamentos definidos em F .

Normalmente não se deseja especificar uma organização onde os comportamentos possíveis são exatamente aqueles que levam à finalidade ($S = P$). Como P depende do ambiente (diferentes ambientes demandam diferentes comportamentos para atingir a finalidade), se $S = P$ e o ambiente mudar (os comportamentos que levam à finalidade passarem a ser P'), a organização pode deixar de ser eficaz ($S \cap P' = \emptyset$). Ou seja, se S é muito pequeno, o SMA pode ter problemas de adaptação a mudanças ambientais, já que a autonomia dos agentes pode ter sido extinta. Por outro lado, se o conjunto S é muito grande, a organização não é eficiente já que não restringe a autonomia dos agentes. Surge aqui, de forma mais clara, o problema de como conciliar a organização com a autonomia dos agentes, isto é, como especificar uma boa organização. A visão apresentada na figura 10 permite considerar o problema de encontrar uma boa organização (um bom tamanho para $S \cap F$) como um problema de busca no espaço de com-

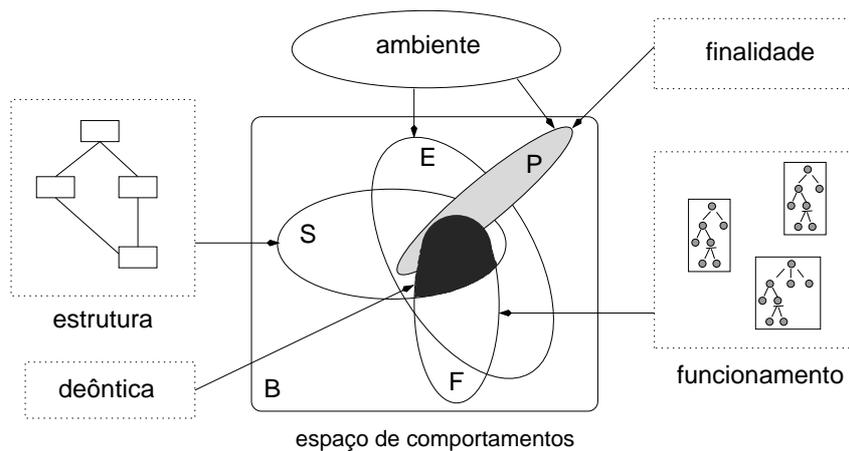


Figura 10: Como a organização contribui para a finalidade do SMA

portamentos (B).⁸ O sucesso na manutenção da finalidade em uma sociedade depende da sua organização (que determina os comportamentos permitidos $S \cap F$) e do ambiente (que determina o conjunto P). Como os agentes não têm controle total sobre o ambiente, uma forma de manter a finalidade da sociedade numa eventual mudança de ambiente é alterar sua organização nos aspectos estruturais, funcionais e/ou normativos.

Dada esta visão geral do $MOISE^+$ e como ele pode contribuir para a finalidade de um SMA, o restante da seção define precisamente as três dimensões que compõem o modelo: a estrutura, o funcionamento e as obrigações. Estas três dimensões formam a Especificação Organizacional (EO) de uma SMA.

4.1. Especificação estrutural

No $MOISE^+$, como no $MOISE$, três conceitos principais, denominados papéis, relações entre papéis e grupos, são utilizados para construir, respectivamente, os níveis individual, social e coletivo de uma Especificação Estrutural (EE).

4.1.1. Nível individual: papéis

Apesar do conceito de papel não ser consensual, a maioria dos autores concordam que um papel é um conjunto de *restrições comportamentais* que um agente aceita ao entrar em um grupo (Cavedon e Sonenberg, 1998; Ferber e Gutknecht, 1998; Glaser e Morignot, 1997; Hannoun et al., 2000; Hübner, 1995). Mais precisamente, segundo (Castelfranchi, 1996), há dois tipos de restrições comportamentais:

- (i) aquelas que um papel confere a um agente em relação a outro agente (por exemplo, considerando os papéis de general e soldado, os agentes que assumem estes papéis têm seus comportamentos direcionados pelos papéis que possuem) e
- (ii) obrigações para com tarefas comuns (por exemplo, os pais devem educar os filhos).

⁸Considerar o problema de alcançar um objetivo social como um problema de busca é uma estratégia proposta por Durfee e Montgomery (1991) aplicada ao problema de coordenação entre agentes. Eles definiram o espaço de busca em seis dimensões: quem, (faz) o que, quanto, onde, como e por que. A busca consiste em encontrar um sextupla que resolva o problema dado. Contudo Durfee e Montgomery (1991) consideram somente aspectos funcionais (o que, como e por que) e de escalonamento (quem, quando e onde) nesta busca, os aspectos estruturais não estão incluídos.

Há portanto um aspecto estrutural dos papéis (*i*), que será visto nesta seção, e outro funcional (*ii*), que será desenvolvido na seção 4.2.

No modelo de organização aqui proposto, o conceito de papel tem função primordial por ser o elo de ligação entre o agente e a organização. Como já foi dito, esta ligação tem tanto uma dimensão estrutural, que é estabelecida quando um agente assume um papel, quanto funcional, que é estabelecida quando um agente se compromete com uma missão. Na estrutura, as ligações que um papel possui com outros papéis são definidas com o objetivo de restringir o comportamento de um papel⁹ em relação a outros papéis. Na dimensão funcional, a restrição ocorre por meio do conjunto de objetivos que o papel deve ou pode ter.

No $MOISE^+$, um papel é um identificador sobre o qual serão definidas relações com os outros elementos da organização. A compreensão de um papel organizacional, ou seja, o conjunto de restrições comportamentais que representa, é obtido olhando-se as relações que tal papel tem na EO.

Será considerado também um tipo especial de papel, chamado de papel abstrato, que nenhum agente pode assumir. Tais papéis existem somente para simplificar a especificação de uma organização.

Ainda para simplificar o processo de especificação dos papéis de uma organização, uma primeira relação que se estabelece entre os papéis é a relação de herança (Esteva et al., 2001; Fox et al., 1998). Se um papel ρ' é herdeiro do papel ρ (denotado por $\rho \sqsubset \rho'$), então ρ' tem algumas das propriedades de ρ mais aquelas que lhe são específicas. Em analogia aos termos de Orientação a Objetos (OO), diz-se neste caso que ρ' é uma *especialização*, ou sub-papel, de ρ e que ρ é uma *generalização*, ou super-papel, de ρ' . Um papel também pode especializar mais de um papel, isto é, um papel pode receber propriedades de mais de um papel. Por exemplo, o papel de aluno de pós-graduação pode ser definido como herdando propriedades do papel mais geral de aluno e de pesquisador ($\rho_{aluno} \sqsubset \rho_{alunopos}$, $\rho_{pesquisador} \sqsubset \rho_{alunopos}$). Continuando nesta “inspiração” baseada na OO, há um super-papel comum a todos os papéis, tal papel é chamado de ρ_{soc} .

As fórmulas seguintes são verdadeiras para a relação de herança (anti-simetria e transitividade):

$$\rho \sqsubset \rho' \wedge \rho' \sqsubset \rho \Rightarrow \rho = \rho' \quad (1)$$

$$\rho \sqsubset \rho' \wedge \rho' \sqsubset \rho'' \Rightarrow \rho \sqsubset \rho'' \quad (2)$$

$$\forall \rho \bullet \rho_{soc} \sqsubset \rho \quad (3)$$

$$\nexists \rho \bullet \rho \sqsubset \rho_{soc} \quad (4)$$

4.1.2. Nível social: ligações e compatibilidades

Enquanto a relação de herança não tem efeito direto no comportamento dos agentes, no nível social os papéis estão relacionados a outros papéis representando restrições impostas às interações de um papel com os outros.

Um primeiro tipo de restrição entre papéis são as ligações (Hannoun et al., 2000). Uma

⁹Na verdade, um papel não tem comportamento, trata-se do comportamento do agente que assume tal papel. No texto que segue, a fim de simplificá-lo, o termo papel será utilizado significando também “o conjunto dos agentes que assumem tal papel”.

ligação é representada pelo predicado $link(\rho_s, \rho_d, t)$ onde ρ_s é o papel de origem, ρ_d é o papel destino e t é o tipo da ligação. No caso do tipo t da ligação ser *acq* (conhecimento), os agentes que assumem o papel de origem ρ_s têm permissão de representar (conhecer) os agentes que assumem o papel destino da ligação ρ_d . No caso de uma ligação de comunicação ($t = com$), os agentes ρ_s têm permissão para se comunicar com os agentes ρ_d . Na ligação de autoridade ($t = aut$), os agentes ρ_s têm autoridade sobre os agentes ρ_d .

As seguintes fórmulas são verdadeiras para o predicado de ligação:

$$(link(\rho_s, \rho_d, t) \wedge \rho_s \sqsubset \rho'_s) \Rightarrow link(\rho'_s, \rho_d, t) \quad (5)$$

$$(link(\rho_s, \rho_d, t) \wedge \rho_d \sqsubset \rho'_d) \Rightarrow link(\rho_s, \rho'_d, t) \quad (6)$$

$$link(\rho_s, \rho_d, aut) \Rightarrow link(\rho_s, \rho_d, com) \quad (7)$$

$$link(\rho_s, \rho_d, com) \Rightarrow link(\rho_s, \rho_d, acq) \quad (8)$$

As duas primeiras fórmulas determinam como as ligações se comportam quanto à herança e as duas últimas determinam que uma ligação de autoridade implica na existência de uma ligação de comunicação que, por sua vez, implica na existência de uma ligação de conhecimento.

Por exemplo, se um docente tem autoridade sobre um aluno $link(\rho_{docente}, \rho_{aluno}, aut)$, então, pela equação (7), o docente também pode se comunicar com o aluno e, pela equação (8), conhecê-los. No mesmo exemplo, se o papel de aluno tem o papel de pós-graduando como uma especialização ($\rho_{aluno} \sqsubset \rho_{alunopos}$), então o docente, pela equação (6), também tem autoridade sobre o pós-graduando.

Enquanto as ligações restringem o comportamento dos agentes depois que eles assumem um papel, a relação de compatibilidade restringe o comportamento de aceitar um papel em função dos papéis atuais de um agente. Por exemplo, um agente não pode assumir o papel de aluno na turma onde é professor. A relação de compatibilidade $\rho_a \bowtie \rho_b$ determina que um agente ρ_a pode assumir o papel ρ_b . Se não for explicitamente especificado que dois papéis são compatíveis, assume-se que eles não o são.

As fórmulas seguintes são verdadeiras para a relação de compatibilidade (reflexividade, transitividade e herdável):

$$\rho \bowtie \rho \quad (9)$$

$$\rho \bowtie \rho' \wedge \rho' \bowtie \rho'' \Rightarrow \rho \bowtie \rho'' \quad (10)$$

$$\rho_a \bowtie \rho_b \wedge \rho_a \not\sqsubset \rho_b \wedge \rho_a \sqsubset \rho' \Rightarrow \rho' \bowtie \rho_b \quad (11)$$

$$\rho \sqsubset \rho' \Rightarrow \rho' \bowtie \rho \quad (12)$$

A última implicação pode ser lida como “os papéis são compatíveis com seus super-papéis”. Por exemplo, todo aluno de pós-graduação pode ser aluno, mas o contrário não é válido por definição. Caso se pretenda estabelecer que todo aluno pode ser aluno de pós-graduação, esta compatibilidade deve ser explicitamente acrescentada à especificação.

4.1.3. Nível coletivo: grupos

Os papéis somente são assumidos no nível coletivo, isto é, dentro de um *grupo*. Intuitivamente, um grupo representa um conjunto de agentes com afinidades maiores e objetivos mais próximos (Ferber e Gutknecht, 1998; Hannoun et al., 2000). Um departamento de uma empresa ou os

jogadores da defesa em um time exemplificam o conceito de grupo dentro de uma organização. Um grupo diferencia-se de uma sociedade justamente por agir como se fosse um único agente cujo comportamento é direcionado a objetivos comuns. Por exemplo, os motoristas em uma cidade conduzem seus carros coordenadamente, mas não formam um grupo. Já um comboio de carros apresenta uma meta comum e, portanto, caracteriza melhor a noção de grupo (Levesque et al., 1990). Além da similaridade com o mundo real, a divisão de agentes em grupos facilita o desenvolvimento e o projeto de uma organização. O projetista pode se ater à especificação de um grupo menor de agentes e usar estes grupos na definição de várias estruturas organizacionais diferentes.

Como já foi apresentado, no MOISE^+ distinguem-se duas noções: a especificação da organização (EO), que é estática, e a criação de entidades que seguem esta especificação (Entidade Organizacional (EnO)). Por exemplo, um papel (uma especificação) que um agente (uma entidade) assume. De forma análoga, há duas noções de grupo: a especificação de um tipo de grupo e um grupo de agentes que adota tal especificação. Será utilizado o termo “especificação de grupo” para indicar um *tipo* de grupo (o aspecto estático que está sendo descrito nesta seção) e o termo “grupo” para significar um grupo instanciado a partir de tal especificação.

Uma especificação de grupo consiste

- dos papéis que podem ser assumidos no grupo (por exemplo, em um grupo do tipo turma, somente os papéis de aluno e professor podem ser assumidos),
- dos sub-grupos que podem ser criados dentro do grupo (por exemplo, dentro do grupo escola, e somente dentro de escola, pode-se criar grupos do tipo turma),
- de ligações que são válidas para os agentes do grupo (por exemplo, um professor tem autoridade sobre os alunos das turmas onde é professor),
- de compatibilidades que são válidas para os agentes do grupo (por exemplo, na mesma turma, um professor não pode ser aluno), e
- de cardinalidades que determinam a boa formação do grupo (por exemplo, uma turma só pode ter um professor).

No nível coletivo, as ligações passam a possuir um escopo: intra- ou inter-grupo. Portanto, um grupo possui ligações intra-grupo \mathcal{L}^{intra} e ligações inter-grupo \mathcal{L}^{inter} . Uma ligação intra-grupo $l \in \mathcal{L}^{intra}$ estabelece que todos os agentes que assumem o papel origem de l em um grupo estão ligados por l a todos os agentes que assumem o papel destino de l no *mesmo* grupo. As ligações inter-grupo estendem o escopo da ligação estabelecendo que todos os agentes que assumem o papel origem de l estão ligados por l a todos os agentes que assumem o papel destino de l não importando em que grupos estes agentes assumem os papéis destino e origem da ligação. Portanto, toda ligação inter-grupo implica em uma ligação intra-grupo:

$$l \in \mathcal{L}^{inter} \Rightarrow l \in \mathcal{L}^{intra} \quad (13)$$

Por exemplo, se $link(\rho_{aluno}, \rho_{professor}, com) \in \mathcal{L}^{inter}$, então qualquer agente com papel de aluno pode conversar com qualquer agente com papel de professor mesmo que os dois agentes estejam em grupos diferentes. No caso de $link(\rho_{professor}, \rho_{aluno}, aut) \in \mathcal{L}^{intra}$, um agente professor somente tem autoridade sobre os alunos do grupo (turma) onde é professor.

Assim como as ligações, as compatibilidades também passam a possuir um escopo quando incluídas em um grupo. Se $\rho_a \bowtie \rho_b \in \mathcal{C}^{intra}$, denota-se também $\rho_a \bowtie^{intra} \rho_b$, então um agente ρ_a em um grupo gr pode assumir também o papel ρ_b no *mesmo* grupo gr . Caso $\rho_a \bowtie \rho_b \in \mathcal{C}^{inter}$, então um agente ρ_a em um grupo gr_1 pode assumir também o papel ρ_b somente em outro grupo gr_2 ($gr_1 \neq gr_2$). Por exemplo, para especificar que um agente não pode

assumir os papéis de professor e aluno no mesmo grupo (turma), mas pode assumí-los em grupos diferentes, adiciona-se a compatibilidade $\rho_{professor} \bowtie \rho_{aluno}$ no conjunto de compatibilidades inter-grupo.

Tanto as ligações como as compatibilidades em uma especificação de grupo gt são válidas também nos seus sub-grupos.

Um especificação de grupo tem ainda duas funções, np e ng , que estabelecem uma *cardinalidade* para papéis e sub-grupos, respectivamente. Tal cardinalidade permite associar o atributo “bem formado” a um grupo. Por exemplo, na especificação de grupo turma, pode-se dizer que $np(\rho_{professor}) = (1, 1)$ e $np(\rho_{aluno}) = (5, 30)$, portanto uma turma é bem formada se um, e somente um, agente assume o papel de professor e se cinco a trinta agentes assumem o papel de aluno. Caso contrário, o grupo não é bem formado.

Exemplo 1 Este exemplo especifica o caso de uma escola. A EE, na notação do \mathcal{MOISE}^+ , está descrita na figura 11 onde três especificações de grupo, escola (grupo raiz), corpo docente e turma são definidas. A primeira especificação de grupo (gt_{escola}) não possui papéis que possam ser assumidos; os papéis somente podem ser assumidos nos sub-grupos, corpo docente e turma; qualquer docente (independente de grupo, isto é, inter-grupo) pode se comunicar com outro docente; não há compatibilidades neste grupo; e uma instância do grupo escola é bem formada se possuir uma instância do sub-grupo corpo docente e, no máximo, 300 alunos em seus sub-grupos ($\rho_{aluno} \mapsto (0, 300)$). Esta última restrição é caracterizada desta forma porque o papel de aluno não pode ser assumido no grupo escola (somente nos seus sub-grupos). Como não há cardinalidade para o sub-grupo turma, a escola pode ter qualquer número de turmas. Percebe-se também a utilidade dos papéis abstratos na construção de especificações. Neste exemplo, através de uma única ligação no papel de docente pode-se dar direito de comunicação tanto ao diretor quanto ao professor.

No grupo corpo docente, os papéis possíveis são de diretor e professor; o diretor tem autoridade sobre os professores dentro deste grupo (pois a ligação de autoridade entre os dois é intra-grupo); um professor pode assumir o papel de diretor (compatibilidade); e deve existir um diretor. Como ilustra este exemplo, um papel pode pertencer a mais de uma especificação de grupo (por exemplo, professor).

Por fim, em uma turma dois papéis podem ser assumidos, professor e aluno; qualquer docente tem autoridade sobre aluno deste que estejam no mesmo grupo (ligação intra-grupo); os alunos podem se comunicar com o professor da turma onde são alunos (ligação intra-grupo); todo aluno pode conhecer os docentes (independente de grupo); um aluno pode se comunicar com qualquer outro aluno (independente de grupo); um professor pode ser aluno, mas somente em turmas diferentes (compatibilidade intra-grupo); um aluno pode ser professor em outra turma; e uma turma é bem formada se possui um professor e de cinco a trinta alunos. Como turma é sub-grupo de escola, possui todas as ligações definidas em escola. Portanto, professor tem autoridade sobre os alunos da turma onde é professor.

Exemplo 2 Ainda no exemplo da escola, a fim de definir uma EE para o processo de seleção e ingresso em um curso de pós-graduação, propõe-se a definição de um novo grupo: comissão de seleção. Os papéis deste grupo e suas ligações estão representados na figura 12. O grupo escola passaria a ter também o sub-grupo seleção.

Exemplo 3 Para exemplificar o uso do \mathcal{MOISE}^+ na definição de organizações hierarquizadas, uma outra alternativa de definição do grupo de seleção é apresentada na figura 13. Neste caso,

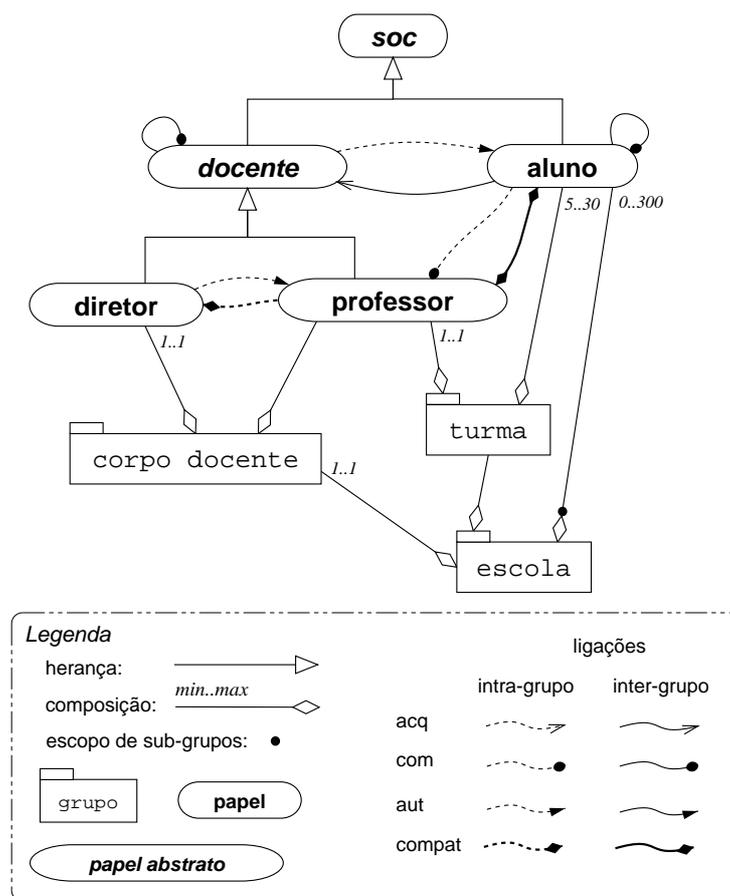


Figura 11: Exemplo de Especificação Estrutural com o MOISE⁺

comparando com o exemplo anterior, os funcionários não podem se comunicar; o secretário pode se comunicar somente com os membros da comissão de seleção; o candidato pode se comunicar somente com o secretário; e a comissão de seleção deve ser formada por exatamente cinco membros e um presidente. O presidente passa a ter autoridade sobre os membros e sobre o secretário que tem autoridade sobre o candidato (!).

A partir destes exemplos, pode-se perceber que algumas EE podem ser mais detalhadas, e eventualmente, mais restritivas que outras. No caso do grupo de seleção, certamente a segunda proposta (exemplo 3) é uma estrutura organizacional que restringe mais os comportamentos possíveis (um conjunto S menor — figura 10) dos agentes que a primeira proposta (exemplo 2). Por um lado, uma EE mais detalhada diminui o espaço de busca dos agentes pois o número de opções de ações possíveis é menor. Isso pode tanto tornar o mecanismo de decisão dos agentes mais rápido quanto garantir à sociedade um comportamento que leve à sua finalidade. Por outro lado, EE muito restritivas são difíceis de especificar, não há como garantir que uma determinada EE irá levar o SMA para sua finalidade, perde-se a autonomia dos agentes e, conseqüentemente, a possibilidade de adaptação à pequenas mudanças no ambiente.

4.2. Especificação funcional

Se, por um lado, a EE procura limitar a autonomia dos agentes por meio de ligações entre papéis, não fica evidente como a finalidade da sociedade será alcançada a partir destas restrições. As restrições estruturais são vistas como contribuições na construção de um ambiente favorável à

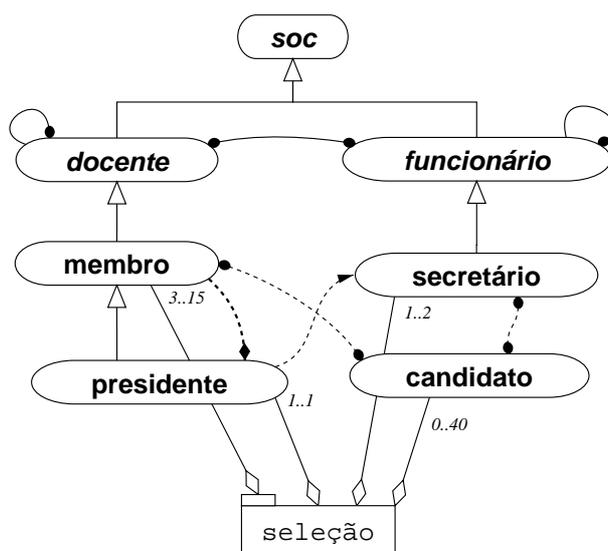


Figura 12: Exemplo de EE para seleção de candidatos

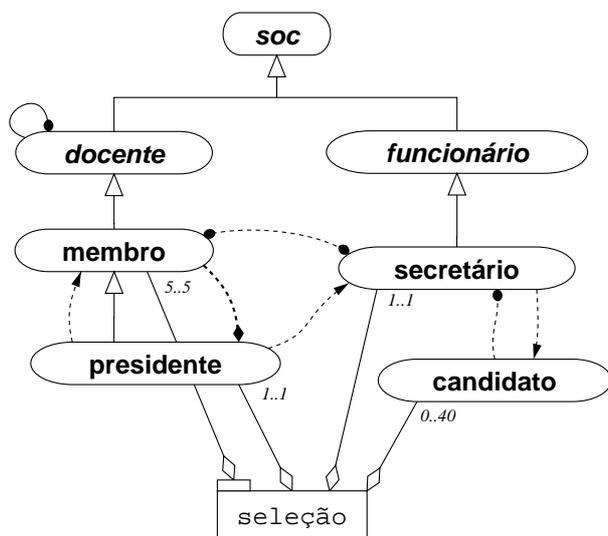


Figura 13: Outra possibilidade para EE de seleção de candidatos

finalidade, mas que não determinam diretamente como alcançar a finalidade. Por outro lado, um dos objetivos da organização é melhorar a eficiência da sociedade — o grau de desempenho com que a sua finalidade é alcançada. Uma maneira de melhorar a eficiência de uma sociedade é estabelecendo procedimentos para realizar certas atividades, assim como acontece nas sociedades observadas na natureza. Por exemplo, em uma escola há o procedimento de inscrição que se estabeleceu depois de ter sido testado, melhorado e validado. Este procedimento tornou-se bastante eficiente, tanto pelo fato de ter sido aperfeiçoado no decorrer do tempo quanto pelo fato de seus usuários terem se habituado a ele. Assim como este, muitos outros exemplos podem ser citados: procedimento de negociação, procedimento para obter um extrato bancário, procedimento de alteração de um jogador durante uma partida de futebol, procedimento de levar oxigênio às células, etc. Todos estes são procedimentos que amadureceram no decorrer da existência das sociedades tornando-se mais robustos e eficientes. Estes tipos de procedimento serão denominados de *esquemas sociais* (Lugo et al., 2001): um conjunto de metas estruturado

por meio de planos. Como visto na seção 3, na área de SMA esta dimensão funcional normalmente lida como os problemas de **coordenação** dos agentes por meio de noções como *Partial Global Plans* (Decker e Lesser, 1992), *Shared Plans* (Grosz e Kraus, 1996), STEAMs (Tambe, 1997) e *Joint Intentions* (Cohen e Levesque, 1991).

4.2.1. Metas globais

A noção fundamental para os esquemas sociais, e conseqüentemente para a Especificação Funcional (EF), é a noção de *meta global*. Um meta global representa um estado do mundo que é desejado pelo SMA. Metas globais diferenciam-se de metas locais pelo fato desta última ser uma meta de um único agente enquanto a primeira é uma meta de todo o SMA. Na terminologia proposta por Castelfranchi (1996), trata-se de um *objetivo social cooperativo*. No texto que segue, quando não é dito se a meta é global ou local, assume-se uma meta global.

A cada meta global g é associado uma combinação de três valores que indicam

1. seu *nível de satisfatibilidade*: indica se a meta já foi alcançada (valor *satisfied*) ou não (valor *unsatisfied*), ou ainda se ela é impossível de ser alcançada (valor *impossible*);
2. seu *nível de alocação*: indica se já existe ou não algum agente comprometido a satisfazer a meta (valores *committed* e *uncommitted*, respectivamente);
3. seu *nível de ativação*: indica se as pré-condições necessárias para que a meta seja satisfeita estão presentes (valores *permitted* e *forbiden*). Por exemplo, a meta “entregar a documentação” é *forbiden* até que a documentação esteja toda preparada.

O valor inicial de uma meta é (*unsatisfied, uncommitted, forbiden*) e, no decorrer do funcionamento do sistema, seu valor vai sendo alterado.

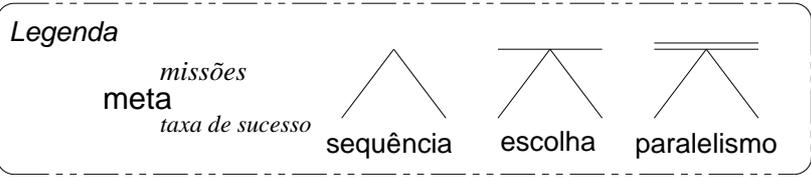
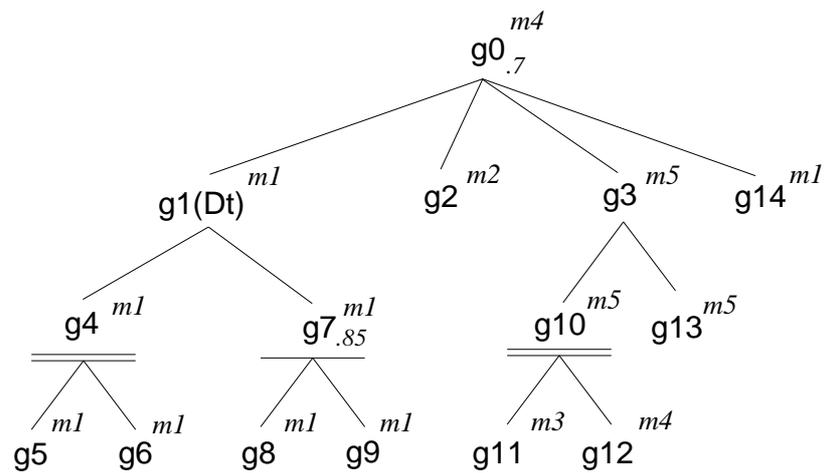
Para simplificar a notação das fórmulas nas seções seguintes, os seguintes predicado são definidos:

- $isSatisfied(\theta)$ é verdade se a meta θ estiver satisfeita;
- $isPossible(\theta)$ é verdade se a meta θ for possível de ser satisfeita.

4.2.2. Nível individual: missões

Um Esquema Social (ES) é constituído, no nível individual, por missões. Uma missão é um conjunto coerente de metas globais que pode ser atribuído a um agente através de um de seus papéis. O agente que se compromete com uma missão é responsável pela satisfação de todas as metas desta missão. No exemplo da figura 14, o agente que se compromete com a missão m_4 deve tentar satisfazer as metas g_0 e g_{12} , ou seja, o mesmo agente deve satisfazer estas duas metas.

As metas podem ter argumentos que detalham melhor o estado de satisfação de uma meta. Por exemplo, na meta g_1 , uma data (argumento Dt) deve ser instanciada detalhando o prazo final de entrega da documentação.



meta	descrição
g_0	o/a candidato/a é aceito no programa de pós-graduação
$g_1(Dt)$	a documentação é recebida no prazo
g_2	a documentação está correta
g_3	o/a candidato é aprovado pela comissão
g_5	o/a candidato/a tem toda a documentação necessária
g_6	o/a candidato/a tem um/a orientador/a
g_7	a inscrição está submetida
g_8	submissão eletrônica
g_9	submissão por correio
g_{11}	uma reunião está marcada
g_{12}	um relator está indicado
g_{13}	o projeto do candidato é avaliado
g_{14}	o formulário de matrícula preenchido é recebido

Figura 14: Exemplo de esquema social para ingresso em um curso de pós-graduação.

4.2.3. Nível coletivo: esquema social

Um ES é, essencialmente, uma árvore de decomposição de metas globais onde a raiz é a meta do ES.¹⁰ A decomposição de metas é feita por meio de planos (denotados pelo operador =) que indicam uma forma de satisfazer uma meta. Por exemplo, no plano “ $g_0 = g_1, g_2, g_3, g_4$ ”, a meta g_0 é decomposta em quatro sub-metas indicando que a super-meta g_0 será satisfeita como consequência do fato das sub-metas g_1, g_2, g_3, g_4 também serem satisfeitas. No contexto de um plano específico, as metas que aparecem no lado direito do sinal = deste plano são sub-metas da super-meta que aparece no lado esquerdo. Uma sub-meta em um plano pode ser super-meta em outro plano. Por exemplo, no plano “ $g_1 = g_4, g_7$ ”, g_1 é a super-meta e g_4 e g_7 são sub-metas deste plano. Portanto, o prefixo super/sub para uma meta é determinado no contexto de um plano.

Três tipos de operadores podem ser usados na construção de um plano:

- **seqüência** “;”: o plano “ $g_1 = g_4, g_7$ ” significa que a meta g_1 será satisfeita se a meta g_4 for satisfeita e depois a meta g_7 também for.

$$isSatisfied(g_1) \Leftarrow isSatisfied(g_4) \wedge isSatisfied(g_7)$$

- **escolha** “|”: o plano “ $g_7 = g_8 | g_9$ ” significa que a meta g_7 será satisfeita se uma, e somente uma, das metas g_8 ou g_9 for satisfeita.

$$isSatisfied(g_7) \Leftarrow (isSatisfied(g_8) \wedge \neg isSatisfied(g_9)) \vee (isSatisfied(g_9) \wedge \neg isSatisfied(g_8))$$

- **paralelismo** “||”: o plano “ $g_4 = g_5 || g_6$ ” significa que a meta g_4 será satisfeita se pelo menos uma das metas g_5 ou g_6 for satisfeita, portanto, ao contrário da escolha, as duas sub-metas podem ser buscadas em paralelo.

$$isSatisfied(g_4) \Leftarrow isSatisfied(g_5) \vee isSatisfied(g_6)$$

Conforme as necessidades da aplicação sendo especificada, a decomposição das metas pode ser descrita mais sucintamente se omitindo metas intermediárias. No exemplo, tem-se que o plano para g_3 é escrito $g_3 = (g_{11} || g_{12}), g_{13}$, quanto formalmente tem-se dois planos: $g_3 = g', g_{13}$ e $g' = g_{11} || g_{12}$.

Para as metas que não tem planos em um ES, eventualmente pode existir um outro ES onde esta meta é a raiz. Caso não exista nem plano nem ES para uma meta, tal meta é chamada de *meta folha*. O agente que se comprometer com uma meta folha não tem na EF um plano que o auxilie na satisfação de tal meta. Portanto, este agente tem que, por meios próprios, encontrar uma forma de satisfazer a meta.

O conjunto de vários planos forma a árvore do esquema (como no exemplo da figura 14) e determina algumas condições de coordenação entre as atividades dos agentes. Um agente não pode, portanto, buscar satisfazer as metas globais de suas missões em qualquer momento. No exemplo da figura 14, a meta g_2 somente pode ser permitida quanto a meta g_1 for satisfeita.

¹⁰A representação de ES proposta baseia-se nos seguintes trabalhos (Brezillon et al., 2000; Decker, 1996; Durfee e Lesser, 1991; Hannoun et al., 2000; Tambe, 1997). Como não se pretende uma especificação muito detalhada do funcionamento da organização, os esquemas, em geral, são simplificações das propostas feitas nestes trabalhos. Evidentemente, apesar de simples, os esquemas representam as informações que foram avaliadas como importantes na especificação de uma organização.

Portanto, no contexto de um esquema, as metas de uma missão estão dentro de um plano que determina quando os agentes comprometidos com elas podem iniciar o processo de busca por satisfazê-las, isto é, quando a meta é *permitted*. Mais precisamente, se um agente α aceita a missão m_i , ele se compromete em satisfazer todas as metas desta missão ($g_j \in m_i$) e α buscará satisfazê-las somente quando a pré-condição de g_j estiver satisfeita. Esta pré-condição é inferida a partir do operador de seqüência (por exemplo, a meta g_{11} somente pode ser tentada depois que a meta g_2 já esteja satisfeita). Esta noção de pré-condições permite estabelecer alguns mecanismos de *coordenação* entre os agentes envolvidos na execução do esquema.

O fato de um agente assumir uma missão não impede que ele delegue suas metas (folhas ou não) para outros agentes. O que está estabelecido no ES é que o agente se compromete perante sua sociedade a ter a meta satisfeita, não importa como ele conseguirá isso. Por exemplo, nada impede que o candidato peça a outro agente para levar sua documentação ao correio, isto é, executar as ações que satisfazem a meta g_9 . Mas é responsabilidade do candidato fazer com que a meta seja satisfeita.

A noção de plano adotada no MOISE^+ considera que se as sub-metas são alcançadas, não necessariamente a super-meta também o será. Por exemplo, a meta g_0 , com plano $g_0 = g_1, g_2, g_3, g_{14}$, provavelmente será satisfeita se as metas g_1, g_2, g_3 e g_{14} forem satisfeitas, mas não certamente. O ambiente interfere no sucesso de g_0 . Apesar da escola receber a documentação no prazo, a documentação estar correta, ter sido aprovada pela comissão de seleção e o formulário de matrícula ter sido entregue, o candidato/a pode não ser aceito no programa de pós-graduação porque, por exemplo, o secretário esqueceu de encaminhar a matrícula para o departamento de administração acadêmica¹¹. Por esta razão, a cada plano é associada uma probabilidade de sucesso, isto é, qual a crença da sociedade na possibilidade de sucesso do plano. Este valor é escrito como subscrito do operador = e, caso não seja informado na definição inicial do plano, é de 100%¹². Por exemplo, o plano $g_7 =_{0.85} g_8 \mid g_9$ indica que se acredita que em 85% dos casos o plano para g_7 funciona.

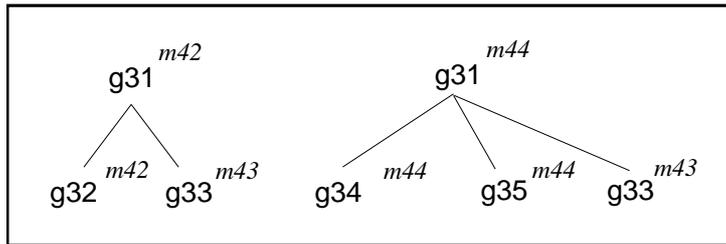
Exemplo 4 Um exemplo bastante simples é o ES utilizado para realizar uma prova. Considerando as metas

<i>meta</i>	<i>descrição</i>
g_{31}	realizar uma prova
g_{32}	preparar a prova
g_{33}	responder a prova
g_{34}	encontrar uma prova aplicada nos anos anteriores
g_{35}	alterar o texto da prova

os seguintes ESs poderiam ser montados:

¹¹Neste exemplo, poderia-se argumentar que o plano para g_0 não está completo e deveria incluir a meta “matrícula processada pelo departamento de administração acadêmica”. Contudo, nem sempre é possível (por falta de conhecimento do problema, por exemplo) definir os planos de forma suficientemente detalhada.

¹²No decorrer do funcionamento do SMA este valor é alterado pela razão entre o número de execuções com sucesso e o número total de execuções do plano



Ou seja, foram definidos dois ES para a mesma meta de realizar uma prova ($sch_{prova1} \cdot g_{31}$ e $sch_{prova2} \cdot g_{31}$).

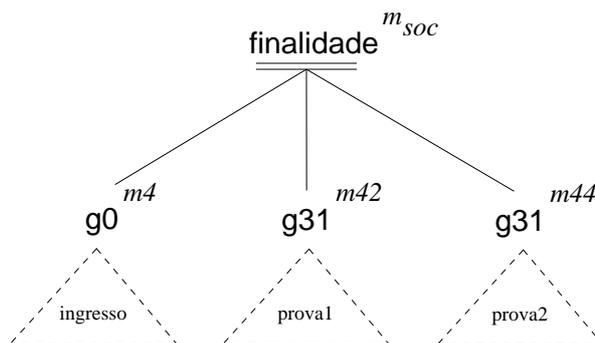
4.2.4. Preferência entre missões

Em alguns casos se deseja estabelecer uma *ordem de preferência* entre as missões. Por exemplo, para dizer que a missão m_{42} (preparar uma prova nova) é preferível à missão m_{44} (utilizar uma prova já aplicada). No \mathcal{MOISE}^+ , esta ordem pode ser especificada da seguinte forma: $m_{42} \prec m_{44}$, ou seja, a missão m_{42} é socialmente preferida. Se, em um determinado momento, um agente estiver comprometido com as missões m_{42} e m_{44} e existirem metas permitidas em ambas as missões, então ele deve dar preferências às metas da missão m_{42} .

Nota-se que esta ordem de preferência entre missões pode, indiretamente, determinar uma ordem de preferência entre esquemas. Como no exemplo 4, onde as duas missões são raízes de ES.

4.2.5. Esquema geral

Toda EF contém, por definição, um esquema que tem o objetivo de unificar todos os demais ES em uma única árvore de decomposição de metas. Por exemplo a escola teria o seguinte esquema geral:



Resumidamente, uma EF descreve como um SMA normalmente alcança suas metas globais, isto é, como estas metas são decompostas por planos e distribuídas aos agentes por missões. Não é objetivo do modelo determinar como estes esquemas são definidos, eles podem tanto ser definidos pelo projetista do SMA que coloca nestes esquemas seu conhecimento do problema, como pelos próprios agentes que guardam na EF suas melhores soluções. Por exemplo, a primeira vez que um problema surge e não há ES para solucioná-lo, os agentes devem construir um plano. Se tal plano for bom, ele é guardado para a próxima vez que o mesmo problema surgir.

Nota-se que para a descrição de uma EF não é necessário fazer qualquer referência a EE (papéis, grupos, ...). Esta independência é proposital e visa permitir que um SMA

possa mudar sua EF sem alterar a EE e vice versa. Mesmo que, vistas individualmente, estas duas especificações possam ser concebidas/descritas/projetadas independentemente, no sistema como um todo essas duas partes devem ser ligadas. Por exemplo, é necessário dizer que tipo de agente pode (ou deve) se comprometer com uma missão. Esse é justamente o objetivo da seção seguinte.

4.3. Especificação deôntica

A relação entre a EE e a EF é feita pela Especificação Deôntica (ED) em seu nível individual, isto é, especifica-se quais as missões que um papel tem permissão ou obrigação de se comprometer. Uma permissão $per(\rho, m, tc)$ determina que um agente com o papel ρ pode se comprometer com a missão m . Restrições temporais (tc) são estabelecidas para a permissão, isto é, se estabelece um conjunto de períodos de tempo onde a permissão é válida (por exemplo: todo dia a qualquer hora, somente nos domingos das 14h às 16h, no primeiro dia do mês, etc.)¹³. Existe um conjunto, denotado por *Any*, que contém todos os períodos de tempo. Uma obrigação $obl(\rho, m, tc)$ estabelece que um agente com papel ρ é obrigado a se comprometer com a missão m nos períodos de tempos determinados em tc .

Para estes dois predicados as fórmulas seguintes são válidas:

$$obl(\rho, m, tc) \Rightarrow per(\rho, m, tc) \quad (14)$$

$$obl(\rho, m, tc) \wedge \rho \sqsubset \rho' \Rightarrow obl(\rho', m, tc) \quad (15)$$

$$per(\rho, m, tc) \wedge \rho \sqsubset \rho' \Rightarrow per(\rho', m, tc) \quad (16)$$

A primeira regra indica que quando um papel é obrigado a uma missão então ele também tem permissão para tal missão. As duas outras regras determinam o comportamento das relações deônticas quanto à herança.

Toda ED tem, pelo menos, a seguinte relação deôntica: $obl(\rho_{soc}, m_{soc}, Any)$. Como todos os papéis são especialização de ρ_{soc} , todos os agentes são obrigados a se comprometer com a missão m_{soc} (a missão raiz do ES sch_{soc}). Uma vez que sch_{soc} representa o plano global para alcançar a finalidade do SMA, esta obrigação implica que todos os agentes estejam comprometidos com a finalidade do sistema.

Exemplo 5 No exemplo da escola, parte da especificação deôntica poderia ser:

<i>Papel</i>	<i>Relação deôntica</i>	<i>Missão</i>	<i>Restrições temporais</i>
presidente	<i>per</i>	$sch_{ingresso}.m_4$	[feb/02 feb/28]
secretario	<i>per</i>	$sch_{ingresso}.m_2$	<i>Any</i>
secretario	<i>per</i>	$sch_{ingresso}.m_3$	<i>Any</i>
membro	<i>per</i>	$sch_{ingresso}.m_5$	<i>Any</i>
candidato	<i>per</i>	$sch_{ingresso}.m_1$	<i>Any</i>
aluno	<i>obl</i>	$sch_{prova1}.m_{43}$	<i>Any</i>
professor	<i>obl</i>	$sch_{prova1}.m_{42}$	<i>periodic 3</i>

Neste exemplo, o presidente da comissão pode iniciar, semente no mês de fevereiro, o ES $sch_{ingresso}$ porque ele tem permissão para a missão raiz deste ES (figura 14). Uma vez que

¹³A definição precisa da linguagem utilizada para expressar esse conjunto de períodos é definida por Carron e Boissier (2001).

o ES é criado, os outros agentes que assumiram os demais papéis da EE ($\rho_{membro}, \rho_{candidato}, \dots$) podem se comprometer com as missões do ES $sch_{ingresso}$. Ainda de acordo com a ED acima, se um agente assumir o papel de candidato, e existir uma instância de $sch_{ingresso}$, ele pode se comprometer com a missão m_1 (encaminhar sua submissão).

No caso do secretário e suas missões (m_2 e m_3), tem-se a seguinte situação: o grupo de seleção pode ter um ou dois secretários (EE do exemplo 2); e no esquema de ingresso cada uma das missões m_2 e m_3 pode ter no máximo um agente comprometido (EF do figura 12). Portanto, ou o mesmo secretário se compromete com as duas missões (o grupo teria necessidade de um único secretário), ou cada secretário se compromete com somente uma das duas missões (o grupo teria dois secretários). Mas não é possível que haja dois secretários e cada um se comprometa com as duas missões. A EO não diz qual a melhor alternativa, os próprios agentes devem tomar essa decisão. Claro que, se fosse desejado, poderia-se facilmente forçar os agentes a adotar uma das duas situações acima. Bastaria, por exemplo, dizer que no grupo seleção pode haver somente um secretário; ou que no lugar das missões m_2 e m_3 , o secretário teria possibilidade de se comprometer somente a uma nova missão que tem cardinalidade (1, 1) e as metas de m_2 e m_3 . O objetivo do modelo é permitir que várias situações possam ser especificadas.

As últimas duas obrigações determinam, respectivamente, que os alunos são obrigados a se comprometer com a missão de realizar a prova (m_{43}) no tempo que a prova durar e que os professores devem realizar três provas (missão m_{42}) no período em que durar uma turma. Na entidade organizacional criada com esta especificação deôntica, esta última relação significa que um agente α que assumiu o papel de professor na turma $gr1$ (criada a partir da especificação $gturma$) é obrigado a fazer três provas durante a existência da turma $gr1$.

No contexto da figura 10, a ED estabelece o conjunto $S \cap F$. Entre os comportamentos possíveis (S), um agente pode optar por um comportamento em $S \cap F$ porque (i) é obrigado a fazê-lo em função de uma obrigação dos papéis que assumiu ou (ii) porque participar de um esquema lhe dá um certo tipo de poder. Se um agente inicia um ES (isto é, um comportamento em $S \cap F$) ele pode forçar os demais, pela ED, a se comprometer com as outras missões do ES. Por exemplo, em um grupo turma, onde agentes assumiram os papéis de professor e aluno, se o agente professor se comprometer com a missão de realizar uma prova, os alunos são forçados pela ED a também se comprometerem com o esquema (realizando a prova), ou seja, o professor tem o poder de obrigar os alunos a participar da prova por meio do esquema sch_{prova1} . Deve-se notar que a ED determina as permissões e obrigações para com as metas globais estabelecidas. Quanto às metas locais, ou mesmo metas globais não consideradas na especificação, a ED não faz qualquer restrição, isto é, os agentes têm completa autonomia para com as metas não globais.

4.4. Entidade organizacional

Uma especificação organizacional, formada pelas EE, EF e ED, não inclui agentes pois tem um caráter mais abstrato onde os agentes são representados por papéis. Em um SMA concreto há portanto a necessidade de que esta especificação seja instanciada por um conjunto de agentes formando uma EnO onde fica estabelecida a posição destes agentes no contexto de uma EO (figura 15). Um EnO é formada pelos seguintes componentes

- a finalidade da entidade;
- uma EO;
- o conjunto de identificadores dos agentes que pertencem a esta entidade;

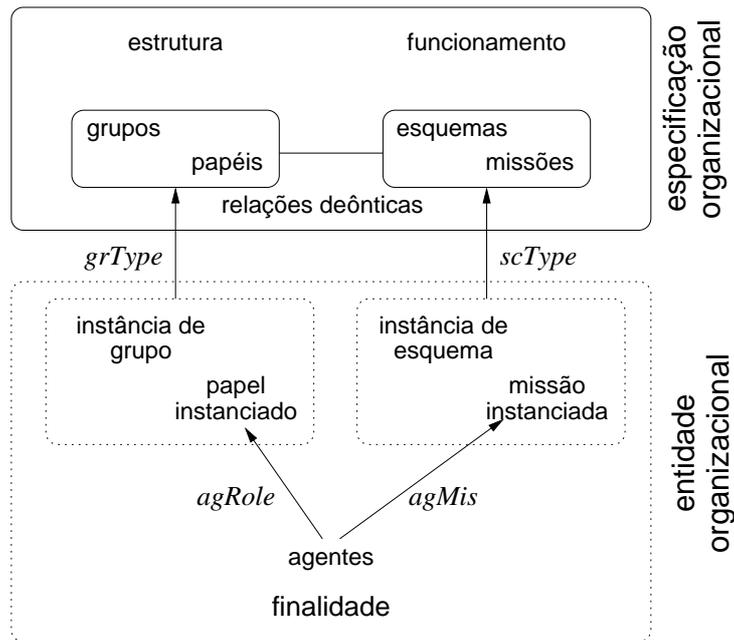


Figura 15: Visão simplificada dos constituintes de um SMA segundo o \mathcal{MOISE}^+

- o conjunto dos grupos criados e suas respectivas especificação de grupos;
- os papéis dos agentes nos grupos;
- o conjunto de ES criados e suas respectivas especificações;
- as missões dos agentes nos esquemas; e
- o estado das metas dos esquemas.

4.5. Considerações sobre o modelo \mathcal{MOISE}^+

O modelo \mathcal{MOISE}^+ apresenta uma concepção de como a organização contribui para a finalidade do SMA, isto é, através de uma estrutura de ligações entre papéis e um conjunto de planos globais (os esquemas). O modelo apresenta as seguintes características principais que delimitam seu domínio de aplicação:

- É uma concepção centrada na organização (conforme definido na seção 3). Não se pretende especificar os agentes e nem estabelecer qualquer requisito para eles. Esta é uma necessidade em SMA abertos, onde não se tem controle sobre o projeto dos agentes, eventualmente desenvolvidos para várias finalidades, por vários projetistas, em várias linguagens, ... Logo, não se tem como saber (ou impor) a arquitetura interna destes agentes.
- Permite descrever uma organização em três dimensões: estrutural, funcional e deôntica (conforme ilustra a figura 16). Em cada dimensão é possível definir um escopo individual (como papéis e missões) e um escopo coletivo (como grupos e esquemas).
- A noção de papel do modelo \mathcal{MOISE}^+ permite conceber um papel de forma semelhante à proposta de Castelfranchi (1996) onde as seguintes características são importantes:
 - papel é coletivo: um papel é assumido e existe em relação a um grupo. O papel não está no agente, mas na sua relação com um grupo (não é, por exemplo, um conjunto de capacidades internas do agente). No \mathcal{MOISE}^+ isso fica evidente quando o papel e suas relações são definidos dentro de um grupo;
 - um papel é normativo: um papel é um conjunto de obrigações estabelecidas nas ligações entre papéis e nas suas relações deônticas (um papel não é uma alocação de tarefas).

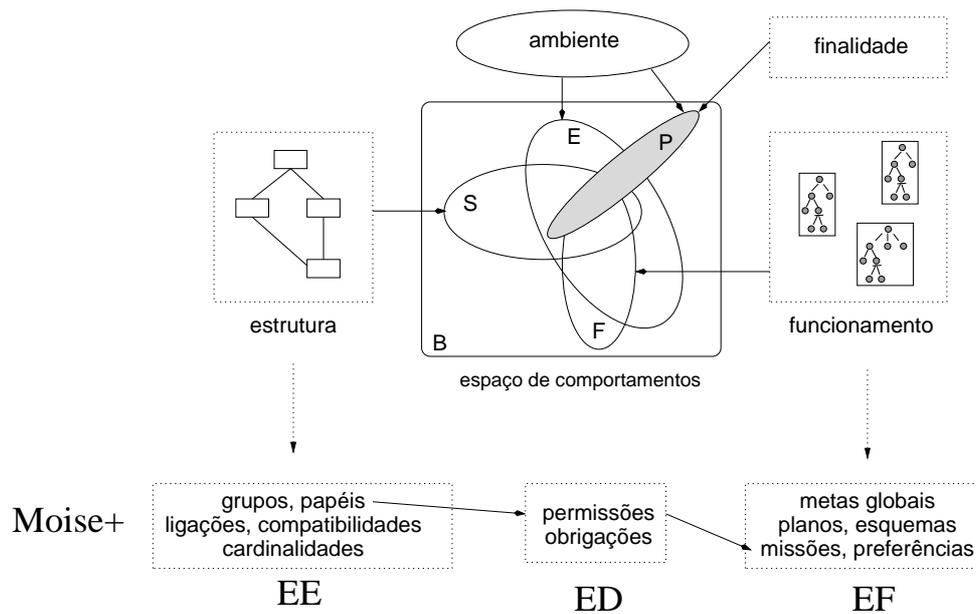


Figura 16: Resumo do modelo proposto segundo a visão organizacional adotada

- iv) Permite estabelecer restrições sobre a dinâmica de formação da EnO através da noção de “bem formado” dos grupos e missões.
- v) Torna explícita a finalidade do sistema.
- vi) Permite a especificação dos aspectos organizacionais (papéis, planos, ...) de forma *independente* (devidamente ligados posteriormente por relações deonticas). Esta independência permite a mudança de um dos aspectos sem grandes conseqüências nos outros aspectos. Esta característica é particularmente interessante quando se considera o processo de reorganização.

Mesmo que os exemplos apresentados eventualmente sugerirem que os agentes da EnO são cognitivos, isso não é uma necessidade. O foco do modelo está na organização da sociedade e não nos agentes que a constituem, que podem ter qualquer tipo de arquitetura interna de funcionamento. Portanto, é possível descrever a organização de sociedades formadas por agentes reativos (como formigas, por exemplo). Nestes casos, o modelo serve para que um observador (humano ou computacional) da sociedade possa fazer uma descrição da organização e não para que um projetista (humano ou computacional) estabeleça a organização que deverá ser respeitada pelos agentes. No contexto apresentado na figura 4, o MOISE^+ pode ser utilizado tanto para descrever a organização institucionalizada quanto a observada.

5. Uma arquitetura para o MOISE^+

Enquanto a seção anterior descreveu *o que é* o modelo organizacional MOISE^+ , esta seção apresenta *como funciona* um SMA que utiliza este modelo. Questões como as seguintes são respondidas no decorrer desta seção.

- Como funciona uma sociedade que segue o MOISE^+ ?
- Com que linguagem se descreve a organização do SMA?
- Onde as informações organizacionais (o estado da EnO) ficam armazenadas (em um único lugar ou descentralizado)?
- Como o modelo interfere no comportamento dos agentes?

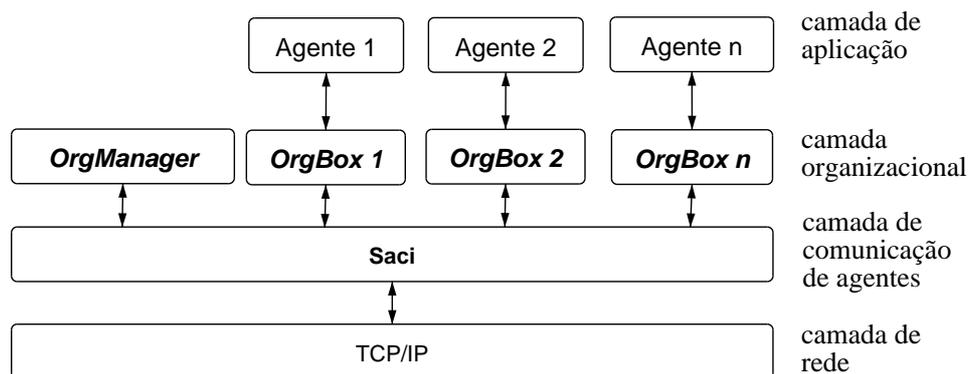


Figura 17: Camadas e componentes da arquitetura proposta

- Como se dá a coordenação dos agentes envolvidos na execução de um esquema?

Convém ressaltar que é proposta *uma* arquitetura para o modelo proposto e que outras seriam possíveis. A arquitetura organizacional aqui proposta foca em organizações do tipo OC (figura 4), onde há uma organização institucionalizada com uma representação explícita e os agentes têm capacidade de raciocinar sobre tal representação. Não é objetivo desta arquitetura, por exemplo, oferecer suporte para agentes que queiram obter uma descrição da organização observada (organizações do tipo AC). Apesar do modelo *MOISE⁺* permitir exprimir uma organização observada, esta arquitetura não busca suportar o processo de observação.

5.1. Visão geral

A arquitetura posposta baseia-se em um abordagem de camadas. Esta abordagem tem como principal vantagem a independência entre as camadas, onde cada camada obtém serviços da camada inferior e provê serviços para a camada superior. São propostas as seguintes camadas (figura 17):

Camada de rede: viabiliza a conexão entre os computadores onde os agentes executam.

Camada de comunicação entre agentes: viabiliza a comunicação entre os agentes por meio de uma Linguagem de Comunicação de Agentes (LCA). A LCA utilizada será o KQML (Finin et al., 1994) implementada pelo ambiente SACI (Hübner e Sichman, 2000). O SACI também dá suporte ao controle da execução distribuída de agentes.

Camada organizacional: oferece os serviços de manutenção do estado da EnO e o controle do cumprimento das regras estabelecidas pela organização. Esta camada é formada por dois componentes: *OrgManager* e *OrgBox*.

O *OrgManager* é um agente cuja função é manter o estado da EnO consistente, por exemplo, não deixando um agente assumir dois papéis incompatíveis. Toda mudança na EnO (entrada de um agente, criação de um grupo, adoção de um papel, ...) deve passar por este agente.¹⁴ A seção 5.2 detalha o funcionamento deste agente.

O *OrgBox* é uma interface que os agentes utilizam para acessar a organização e os demais agentes. Sempre que um agente deseja realizar uma ação sobre a EnO (se comprometer com uma missão, por exemplo) ou enviar uma mensagem, ele deve solicitar este serviço ao seu *OrgBox* que, por sua vez, irá interagir, via SACI, com o *OrgBox* do outro agente. A seção 5.3 detalha o funcionamento deste componente.

¹⁴Este agente é inspirado no agente *Facilitator* do KQML, que mantém o estado das páginas brancas (nome dos agentes) e amarelas (serviços dos agentes) do sistema.

Camada de aplicação: nesta camada estão os agentes da aplicação sendo desenvolvida. Como cada domínio de aplicação demanda diferentes soluções neste nível, esta seção não dará muita atenção aos problemas desta camada procurando definir a camada organizacional de forma independente da aplicação.

5.2. Dinâmica da entidade organizacional

A dinâmica de uma EnO consiste das alterações no estado da entidade causados por *eventos organizacionais*. Tais eventos ocorrem quando o OrgManager recebe uma mensagem de um agente solicitando a alteração de algum elemento da EnO. Somente a alteração de alguns dos elementos da EnO serão considerados, alterações na finalidade ou na especificação organizacional da entidade não serão consideradas.¹⁵

Os eventos organizacionais são os seguintes:

- Criação da entidade organizacional. A criação da EnO consiste da criação do agente OrgManager e sua inclusão no sistema. A sua criação necessita de dois argumentos: a finalidade do sistema e a EO. Na implementação desta arquitetura (disponível em <http://www.lti.pcs.usp.br/moise>), a EO é descrita em um arquivo XML (há um exemplo deste arquivo no anexo A).
- Criação ou remoção de um grupo. Qualquer agente pode criar um grupo, bastando para isso indicar qual a especificação de grupo que deve ser utilizada.
- Criação ou finalização de esquemas. A criação de uma instância de esquema é feita por um agente que tem permissão para a meta raiz do esquema. Na sua criação, o esquema recebe um conjunto de grupos responsáveis pela execução do esquema, somente agentes destes grupos podem se comprometer com as missões do esquema.
Para o término normal de um esquema, não pode haver agentes comprometidos com as missões do esquema. Assim como um esquema pode terminar normalmente, pode-se desistir da sua execução. Neste segundo caso, os agentes perdem seu compromisso com as missões do esquema.
- Para alterar o estado de uma meta global, os seguintes eventos podem ocorrer: a meta tornar-se satisfeita ou tornar-se impossível. Para uma meta de um esquema ficar satisfeita ele deve ser permitida (conforme a definição da figura 18), ter pelo menos um agente comprometido com ela e ser possível. Para tornar-se impossível, a meta deve ser permitida e ter pelo menos um agente comprometido com ela.
Dos três argumentos que determinam o valor de uma meta em um esquema, só o primeiro (com valores *unsatisfied*, *satisfied* e *impossible*) é alterado por um evento organizacional sobre as metas. O segundo argumento (*committed* ou *uncommitted*) é alterado quando um agente se compromete com uma missão que inclui a meta. O terceiro argumento (*permitted* ou *forbiden*) é alterado conforme as metas que são pré-condição vão sendo satisfeitas no esquema (ver função *isPermitted* na figura 18).
- Existem três pares de eventos relacionados aos agentes: entrada/saída do sistema, adoção/abandono de papel e comprometimento/descomprometimento com uma missão. A arquitetura aqui apresentada não restringe a entrada de agentes no sistema, as restrições são estabelecidas na adoção de papéis nos grupos.¹⁶ Em geral, um agente

¹⁵Na verdade, alterações nestes dois elementos também são possíveis, contudo, elas são um caso particular considerado em um contexto de reorganização.

¹⁶Outras propostas de arquitetura apresentam regras para a entrada e a saída de um agente, em Ferber e Gutknecht (1998); Glaser e Morignot (1997) algumas destas formas são apresentadas.

```

function isPermitted(esquema si, meta g)
if g é a raiz de si then
  return true
else
  g está em um plano do tipo “ $g_0 = \dots g \dots$ ”
  if g está em um plano do tipo “ $g_0 = \dots g_i, g \dots$ ” then
    if a meta  $g_i$  está satisfeita then
      return true
    else
      return false
    end if
  else
    return isPermitted(si,  $g_0$ )
  end if
end if

```

Figura 18: Função de verificação do estado de uma meta.

pode entrar ou sair de uma sociedade se isso contribuir ou para a finalidade dela ou para os objetivos do agente¹⁷.

A saída de um agente tem como pré-condições que este agente não esteja mais assumindo nenhum papel ou missão na EnO. Claro que este é o caso de uma saída *normal*, isto é, deixar a EnO de forma correta e conforme a organização social. Contudo, um agente autônomo pode deixar uma missão (ou papel) sem atender os requisitos listados aqui. Para estas *exceções* normalmente há um sistema de penalidades no SMA. Este aspecto não é tratado por esta arquitetura.

5.3. O componente OrgBox

Os agentes têm, por meio do OrgBox, uma visão local da EnO que é mantida pelo OrgManager. O OrgBox tem as seguintes funções na arquitetura: garantir o cumprimento das restrições organizacionais e prover alguns serviços à arquitetura do agente. A arquitetura do \mathcal{MOISE}^+ termina neste componente (conforme ilustra a figura 17) para manter a propriedade de independência em uma arquitetura de camadas (uma camada só depende da camada inferior), ou seja, não são feitas considerações sobre como é a arquitetura de funcionamento dos agentes da camada de aplicação. Por outro lado, a arquitetura dos agentes, na camada de aplicação, utiliza e depende do OrgBox como forma de se situar organizacionalmente.¹⁸ Assim, via OrgBox, vários tipos de arquiteturas de agente podem fazer uso da camada organizacional do \mathcal{MOISE}^+ .

A visão local que o OrgBox tem da EnO não é exatamente uma cópia da EnO mantida pelo OrgManager. Por causa das ligações do tipo *acquaintance*, o conjunto de agentes na visão local é formado apenas pelos agentes que possuem uma ligação de conhecimento com o agente do OrgBox. Outro aspecto importante é a atualização da visão local em relação ao estado real da EnO mantida pelo OrgManager. A solução proposta é o OrgManager notificar os OrgBoxes das mudanças no estado da EnO quando ocorrem atualizações pertinentes ao OrgBox. Por exemplo,

¹⁷Conte e Castelfranchi (1995) explicam como um agente, mesmo autônomo, pode vir a assumir um papel, e as conseqüentes obrigações, em um sistema.

¹⁸Um exemplo de uma possível arquitetura de agente organizacional, baseado na arquitetura ASIC (Boissier, 1993; Boissier e Demazeau, 1994) é proposta por Hannoun (2002).

se uma meta tornou-se impossível, o OrgBox será informado somente se participar do esquema que contem tal meta. Assim as visões locais não estão sempre completamente sincronizadas com a EnO, mas estão suficientemente atualizadas.

Os principais serviços que o OrgBox oferece à arquitetura do agente são os seguintes.

Comunicação: o envio e recebimento de mensagens KQML para/de outros agentes. Neste serviço, o OrgBox implementa as restrições das ligações de comunicação, ou seja, o agente somente enviará/receberá mensagens dos agentes para os quais possua uma ligação de comunicação.¹⁹ Um agente ag_1 possui uma ligação de comunicação com outro agente ag_2 se um de seus papéis possuir uma ligação de comunicação com um dos papéis do agente ag_2 .

Geração de eventos organizacionais: por meio do OrgBox, o agente pode entrar no sistema, assumir um papel, criar um grupo, etc. O OrgBox encapsula a comunicação KQML necessária para gerar os eventos organizacionais que o OrgManager compreende.

Informações de obrigações: o OrgBox mantém o agente informado de quais missões ele é obrigado a se comprometer (o algoritmo da figura 19 detalha a obtenção destas missões). Estas missões dependem essencialmente dos papéis que o agente assumiu e das obrigações (determinadas na ED) decorrentes destes papéis.

No caso onde as obrigações de um agente não estiverem incluídas nos seus compromettimentos, diz-se que o agente não está cumprindo com suas obrigações organizacionais.

Informações de metas possíveis: o OrgBox mantém o agente informado de quais são as metas globais que podem ser buscadas (o algoritmo da figura 20 detalha a obtenção destas metas). O conjunto destas metas depende do estado de execução dos esquemas, ou seja, depende das ações dos outros agentes.

O OrgBox somente informa quais são as metas possíveis, sendo que o agente deve assumir a responsabilidade pela sua satisfação, inclusive pela construção de um plano para satisfazê-la caso não haja um plano no esquema. O que se estabelece é a responsabilidade pela meta, para satisfazer a meta o agente pode, inclusive, delegar a tarefa a outro agente. Portanto, apesar da organização indicar quais são as metas globais dos agentes, eles tem autonomia de planejamento.

5.4. Exemplo

Para exemplificar o funcionamento da arquitetura e como ocorre a coordenação entre os agentes envolvidos na execução de um esquema, será considerado o seguinte contexto:

- a EO construída para a escola nos exemplos 1, 4 e 5.
- A EnO criada possui uma turma com um agente professor (chamado Jaime) e três alunos (chamados Jomi, Gustavo e Fabrício). A figura 21 ilustra o estado deste grupo. (As figuras de telas que seguem foram obtidas a partir da implementação desta arquitetura.)

A partir deste contexto, este exemplo descreve como ocorre a execução do esquema de realização de uma prova através dos passos seguintes.

1. O agente Jaime, por meio de seu OrgBox, solicita a criação de uma instância do esquema *prova1*. Como este agente atende às pré-condições de criação do esquema, ele tem permissão para a meta “realizarProva” que é a raiz do esquema, o esquema é criado.

¹⁹Certamente um agente pode burlar este mecanismo de controle bastando encontrar outro meio de comunicação com os demais agentes (utilizando sockets, por exemplo). Contudo não é foco deste trabalho analisar as transgressões organizacionais.

function getObligatedMissions(agent α)

$all \leftarrow \emptyset$

% o conjunto de missões obrigatórias

for all papel ρ que α assumiu **do**

$gr \leftarrow$ o grupo onde ρ foi assumido

for all esquema si que gr é responsável **do**

if o esquema ainda não terminou **then**

for all missão m do esquema si **do**

if ρ tem obrigação para com m **then**

if cardinalidade da missão m não está ok **then**

$all \leftarrow all \cup \{m\}$

end if

end if

end for

end if

end for

end for

ordena all de acordo com as preferências entre as missões

return all

Figura 19: Algoritmo que determina as obrigações de um agente.

O estado do esquema após sua criação é ilustrado na figura 22. Note que o esquema não está bem formado já que não há nenhum agente assumindo a missão m_{42} (realizar e preparar a prova). As metas não estão satisfeitas, todas são possíveis, nenhuma tem agentes comprometidos e somente duas são permitidas. A meta “responderProva” somente pode ser executada quando a meta “prepararProva” já estiver satisfeita (veja o plano para a meta “realizarProva”).

2. O agente Jaime, pela função *getObligatedMissions* do seu *OrgBox*, descobre que deveria se comprometer com a missão m_{42} . A arquitetura do agente Jaime decide que ele deve se comprometer com tal missão. O pedido é feito, via *OrgBox*, ao *OrgManager* que altera o estado do esquema como tendo Jaime comprometido com m_{42} .
3. Os três alunos, de forma análoga, percebem que deveriam se comprometer com a missão m_{43} (responder a prova) e se comprometem com tal missão.
4. O agente Jaime consulta no *OrgBox* (função *getPossibleGoals*) as metas globais que lhe são possíveis. Dado que “prepararProva” e “realizarProva” são permitidas (conforme figura 22), o *OrgBox* retorna a meta mais a esquerda na árvore do esquema, ou seja, a meta “prepararProva”.
5. Os alunos fazem o mesmo, mas não existem metas possíveis para eles. Apesar de comprometidos com a meta “responderProva” tal meta não é permitida (ver figura 22).
6. O agente Jaime termina a preparação da prova e notifica o *OrgManager* que a meta “realizarProva” foi satisfeita. A tela da figura 23 ilustra o novo estado do esquema. Nota-se que a meta “realizarProva” tornou-se permitida.
7. Os alunos consultam novamente suas metas possíveis e percebem que agora a meta “responderProva” é permitida e passam a executá-la. Ao final da prova, estes agentes tornam a meta “responderProva” satisfeita.

Percebe-se aqui que a camada organizacional facilitou a coordenação entre os agentes

function getPossibleGoals(agent α)

$all \leftarrow \emptyset$

% o conjunto de metas possíveis

for all missão m que α está comprometido **do**

$sch \leftarrow$ o tipo do esquema onde m foi assumido

for all meta g da missão m **do**

if $\neg isSatisfied(g) \wedge isPossible(g) \wedge isPermitted(g)$ **then**

for all g_s que é super-meta no sch **do**

if $\neg isSatisfied(g_s) \wedge \neg isImpossible(g_s)$ **then**

$all \leftarrow all \cup \{g\}$

end if

end for

end if

end for

end for

return all

A satisfação de uma meta somente pode ser buscada por um agente se tal meta estiver no conjunto retornado pela função acima. De forma geral, o algoritmo especifica que para uma meta pertencer a este conjunto, o agente deve estar comprometido com a missão desta meta, a meta não deve estar satisfeita, a meta deve ser possível, a meta deve ser permitida pelo estado de execução do esquema (ver algoritmo da figura 18), e nenhuma super-meta deve estar satisfeita ou impossível. Esta última condição justifica-se pelo fato de que se uma super-meta já está satisfeita (ou impossível) é inútil buscar satisfazer suas sub-metas. O conjunto all depende das ações dos demais agentes pois eles podem alterar o estado das metas do esquema e conseqüentemente o valor retornado pela função $isPermitted$.

Figura 20: Algoritmo que determina as metas possíveis para um agente.

dispensando-os de se comunicarem para realizarem suas ações na seqüência correta.

8. O agente Jaime, percebendo que o plano para a meta “prepararProva” foi executado, torna a meta “prepararProva” satisfeita. Como esta é a meta raiz do esquema, o esquema é considerado como terminado.
9. Não tendo mais metas possíveis para a missão m_{43} , os alunos tiram seu comprometimento para com esta missão.
10. Analogamente, o professor retira seu comprometimento para com as missões do esquema encerrado.

5.5. Considerações finais sobre a arquitetura

Ao contrário da maioria das soluções de implementação de modelos organizacionais (onde o modelo está *dentro* dos agentes, por exemplo Hannoun (2002); Horling et al. (2001); Stone e Veloso (1999); Werner (1989)), a arquitetura proposta busca considerar sistemas abertos. Em tais sistemas não se conhece a arquitetura dos agentes que participam no sistema. Por esta razão, a proposta apresentada faz poucas exigências quanto à arquitetura dos agentes fazendo uso de uma abordagem em camadas. A única exigência para um agente participar do sistema é ele conhecer KQML (para se comunicar com o OrgManager) ou utilizar o OrgBox (que encapsula a comunicação KQML).

Tal solução permitiu garantir o cumprimento das ligações de conhecimento e de comunicação do modelo $MOISE^+$. A ligação de autoridade deve ser implementada na arquite-

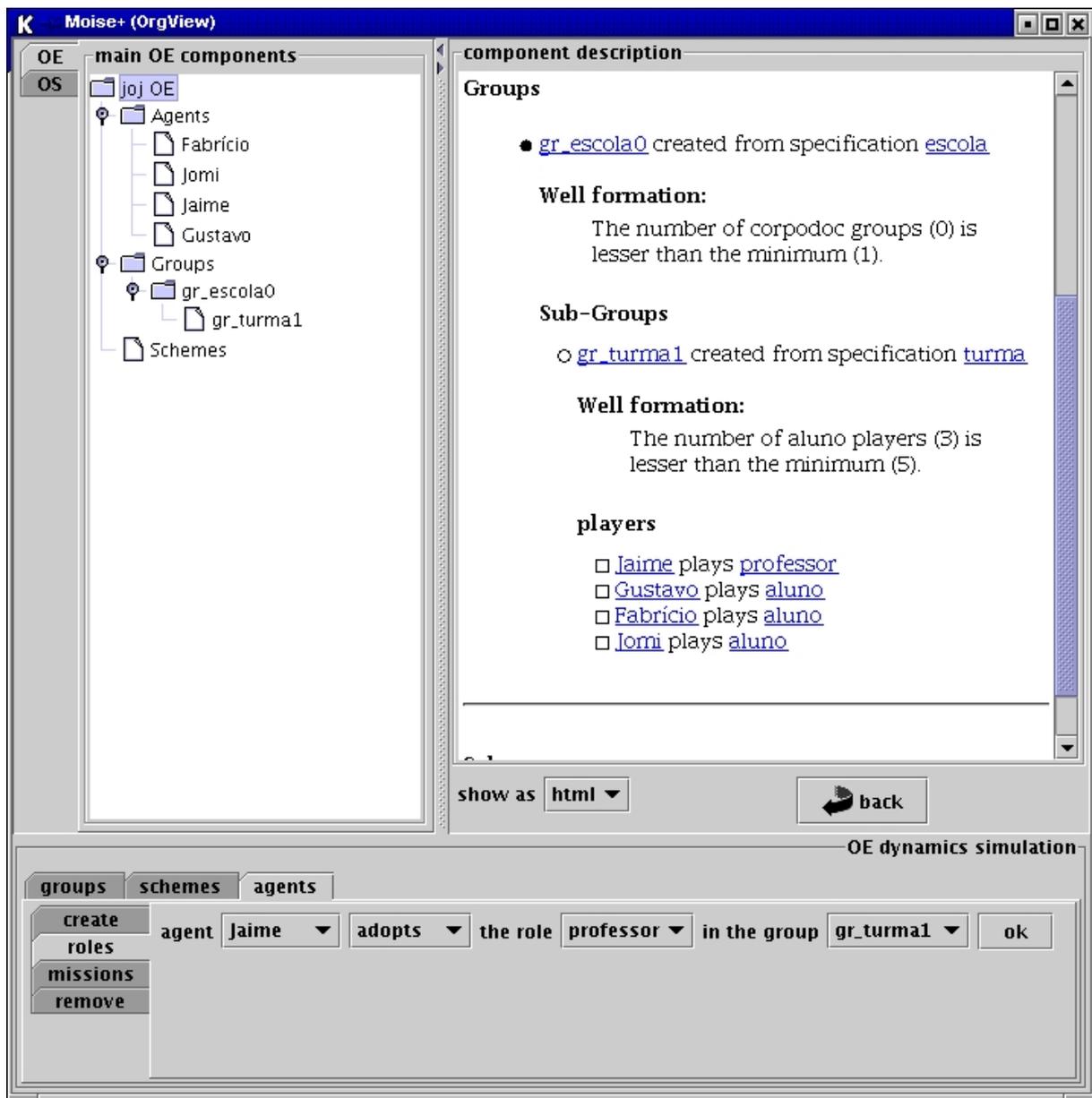


Figura 21: Especificação dos grupos da escola.

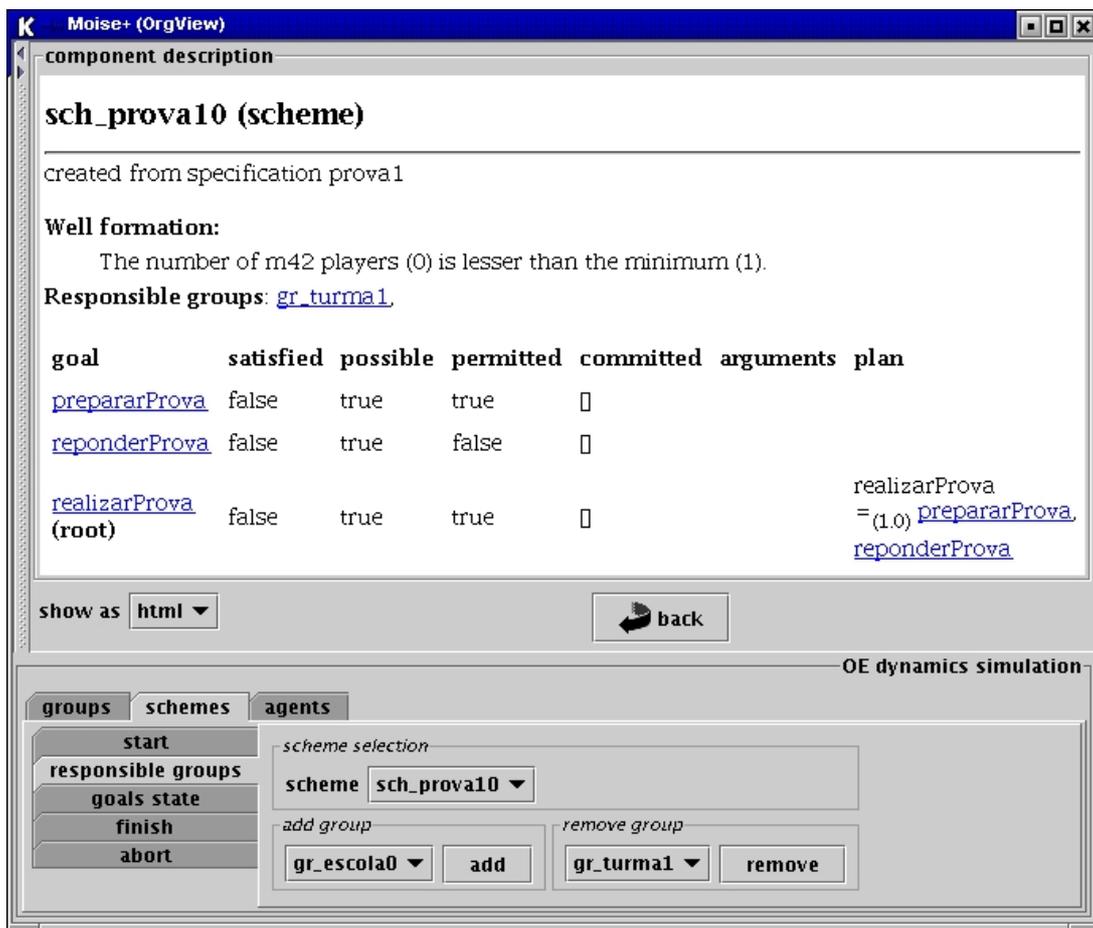


Figura 22: Estado inicial do esquema de realização de uma prova.

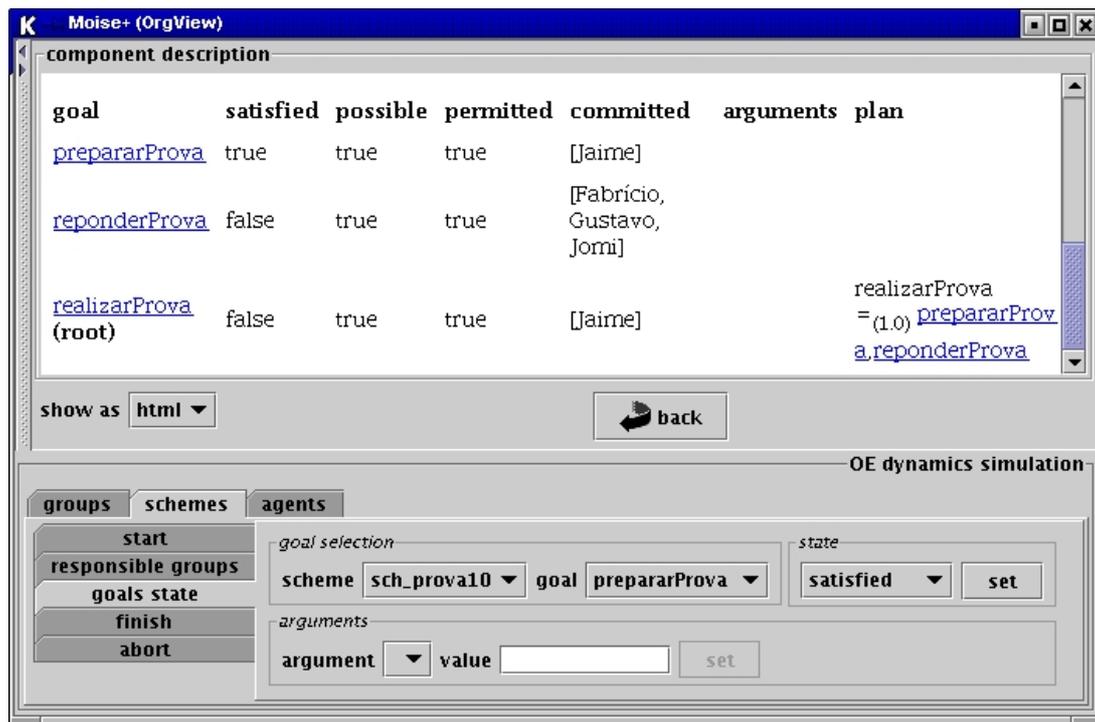


Figura 23: Estado do esquema de realização de uma prova após a realização da meta *preparar prova*.

tura do agente. Apesar do OrgBox informar ao agente quais suas obrigações (missões e metas), ele não garante que o agente irá satisfazê-las. Novamente, depende da arquitetura do agente a decisão de satisfazer as metas globais.

6. Conclusão

Enquanto a maioria dos trabalhos na área de SMA focam nos aspectos de “agentes” e “interação”, este trabalho apresentou e exemplificou um aspecto dos SMA pouco abordado: a organização. Um breve resumo dos principais modelos organizacional foi apresentado, dando atenção especial ao modelo $MOISE^+$ e a uma arquitetura para este modelo.

O $MOISE^+$ permite especificar uma organização, porém uma questão que permanece aberta é como escolher uma boa organização para um SMA. Esta tarefa pode ser tanto atribuída ao projetista do sistema quanto aos próprios agentes. No primeiro caso, normalmente as metodologias de SMA consideram uma etapa de especificação organizacional. No segundo caso tem-se um problema de *auto-organização*. Como um SMA precisa se adaptar a novos ambientes/problemas (figura 1), a organização estabelecida pode vir a tornar-se inadequada, isto é, o conjunto de restrições que a organização representa não contribui para a finalidade do sistema. Portanto, é importante que o próprio SMA tenha capacidade de avaliar sua organização e propor mudanças neste conjunto de restrições a fim de adaptar-se ao ambiente. Um introdução a este problema pode ser encontrada em (Pattison et al., 1987; So e Durfee, 1993).

Referências

Alvares, L. O. e Sichman, J. S. (1997). Introdução aos sistemas multiagentes. In Medeiros, C. M. B., editor, *Jornada de Atualização em Informática (JAI'97)*, chapter 1, pages 1–38. UnB,

Brasília.

- Baeijs, C. (1998). *Fonctionnalité Emergente dans une Société d'Agents Autonomes – Etude des Aspects Organisationnels dans les Systèmes Multi-Agents Réactifs*. Thèse (doctorat), LEIBNIZ-Institut IMAG, France.
- Boissier, O. (1993). *Problème du contrôle dans un système intégré de vision, utilisation d'un système multi-agents*. Thèse (doctorat), INP Grenoble.
- Boissier, O. (2002). Modèles et architectures d'agents. In Briot, J.-P. e Demazeau, Y., editors, *Principes et architecture des systèmes multi-agents*, chapter 2, pages 71–108. Hermes, Paris.
- Boissier, O. e Demazeau, Y. (1994). ASIC: An architecture for social and individual control and its applications to computer vision. In Demazeau, Y., Müller, J.-P., e Perram, J., editors, *Proceedings of the 6th European Workshop on Modeling Autonomous Agents in Multi-Agent World (MAAMAW'94)*.
- Bordini, R. H. (1994). Suporte lingüístico para migração de agentes. Dissertação de mestrado, Instituto de Informática/UFRGS, Porto Alegre.
- Bordini, R. H. (1999). *Contributions to an Anthropological Approach to the Cultural Adaptation of Migrant Agents*. These (ph.d.), University College London, London.
- Bordini, R. H., Vieira, R., e Moreira, Á. F. (2001). Fundamentos de sistemas multiagentes. In Ferreira, C. E., editor, *Jornada de Atualização em Informática (JAI'01)*, volume 2, chapter 1, pages 3–44. SBC, Fortaleza, Brasil.
- Brezillon, P., Pasquier, L., e Pomerol, J. (2000). Representing knowledge by contextual graphs. In Monard, M. C. e Sichman, J. S., editors, *Proceedings of the International Joint Conference, 7th Ibero-American Conference on AI, 15th Brazilian Symposium on AI (IB-ERAMIA/SBIA'2000), Atibaia, SP, Brazil, November 2000*, LNAI 1952, pages 245–258, Berlin. Springer.
- Briot, J.-P. e Demazeau, Y., editors (2002). *Principes et architecture des systèmes multi-agents*. Hermes, Paris.
- Caire, G., Coulier, W., Garijo, F., Gomez, J., Pavon, J., Leal, F., Chainho, P., Kearney, P., Stark, J., Evans, R., e Massonet, P. (2001). Agent oriented analysis using MESSAGE/UML. In *Proceedings of the Second International Workshop on Agent-Oriented Software Engineering (AOSE-2001)*.
- Carron, T. e Boissier, O. (2001). Towards a temporal organizational structure language for dynamic multi-agent systems. In *Pre-Proceeding of the 10th European Workshop on Modeling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (MAAMAW'2001)*.
- Castelfranchi, C. (1990). Social power: A point missed in multi-agent, DAI and HCI. In Demazeau, Y. e Müller, J.-P., editors, *Decentralized Artificial Intelligence*. Elsevier, Amsterdam.
- Castelfranchi, C. (1996). Commitments: From individual intentions to groups and organizations. In Ishida, T., editor, *Proceedings of the 2nd International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'96)*, pages 41–48. AAAI Press.
- Castelfranchi, C., Conte, R., e Paolucci, M. (1998). Normative reputation and the cost of compliance. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1(3). <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/3/3.html>.
- Cavedon, L. e Sonenberg, L. (1998). On social commitment, roles and preferred goals. In Demazeau, Y., editor, *Proceedings of the 3rd International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'98)*, pages 80–87. IEEE Press.
- Cohen, P. R. e Levesque, H. J. (1987). Intention = choice + commitment. In *Proceedings of the 6th National Conference on Artificial Intelligence*, pages 410–415. Morgan Kaufmann.
- Cohen, P. R. e Levesque, H. J. (1991). Confirmation and joint action. In *Proceeding of the Twelfth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'91)*, pages 951–959.

- Conte, R. e Castelfranchi, C. (1994). Minds and norms: Types of normative reasoning. In Bicchieri, C., editor, *Proceedings of the 2nd Italia-USA Workshop on Knowledge, Belief and Strategic Interaction*. Cambridge University Press.
- Conte, R. e Castelfranchi, C. (1995). *Cognitive and Social Action*. UCL Press.
- Conte, R., Falcone, R., e Sartor, G. (1999). Agents and norms: How to fill the gap? *Artificial Intelligence and Law*, 7:1–15.
- da Rocha Costa, A. C., Hübner, J. F., e Bordini, R. H. (1994). On entering an open society. In *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial*, pages 535–546, Fortaleza. SBC. <http://www.inf.furb.br/~jomi/pubs/1994/sbia/XISBIA\unhbox\voidb@x\vbox{\hrulewidth0.4em}On\unhbox\voidb@x\vbox{\hrulewidth0.4em}Entering.ps.gz>.
- Decker, K. e Lesser, V. (1994). Task environment centered design of organizations. In *Proceedings of the AAAI Spring Symposium on Computational Organization Design*.
- Decker, K. S. (1996). TÆMS: A framework for environment centered analysis and design of coordination mechanisms. In O'Hare, G. M. P. e Jennings, N. R., editors, *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, chapter 16, pages 429–447. John Wiley, New York.
- Decker, K. S. (1998). Task environment centered simulation. In Prietula, M. J., Carley, K. M., e Gasser, L., editors, *Simulating Organizations: Computational Models of Institutions and Groups*, chapter 6, pages 105–128. AAAI Press / MIT Press, Menlo Park.
- Decker, K. S. e Lesser, V. (1995). Designing a family of coordination algorithms. Umass computer science technical report 1994-14, Department of Computer Science, University of Massachusetts. UMAss Computer Science Technical Report 1994-14.
- Decker, K. S. e Lesser, V. R. (1992). Generalizing the partial global planning algorithm. *International Journal of Intelligent Cooperative Information Systems*, 1(2):319–346.
- Demazeau, Y. e Müller, J.-P., editors (1990). *Decentralized Artificial Intelligence*. Elsevier, Amsterdam.
- Dignum, V. e Dignum, F. (2001). Modelling agent societies: Co-ordination frameworks and institutions. In Brazdil, P. e Jorge, A., editors, *Proceedings of the 10th Portuguese Conference on Artificial Intelligence (EPIA'01)*, pages 191–204, Berlin. Springer. LNAI 2258.
- Drogoul, A., Corbara, B., e Lalande, S. (1995). MANTA: New experimental results on the emergence of (artificial) ant societies. In Gilbert, N. e Conte, R., editors, *Artificial Societies: the Computer Simulation of Social Life*, pages 119–221. UCL Press, London.
- Durfee, E. H. e Lesser, V. R. (1991). Partial global planning: A coordination framework for distributed hypothesis formation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 21(5):1167–1183.
- Durfee, E. H. e Montgomery, T. A. (1991). Coordination as distributed search in a hierarchical behavior space. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 21(6):1363–1378.
- Esteva, M., Rodriguez-Aguiar, J. A., Sierra, C., Garcia, P., e Arcos, J. L. (2001). On the formal specification of electronic institutions. In Dignum, F. e Sierra, C., editors, *Proceedings of the Agent-mediated Electronic Commerce*, LNAI 1191, pages 126–147, Berlin. Springer.
- Ferber, J. (1999). *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, London.
- Ferber, J. e Gutknecht, O. (1998). A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agents systems. In Demazeau, Y., editor, *Proceedings of the 3rd International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'98)*, pages 128–135. IEEE Press.
- Finin, T., Fritzon, R., McKay, D., e McEntire, R. (1994). KQML: A language and protocol for knowledge and information exchange. In *Proceedings of the 13th International Workshop on Distributed Artificial Intelligence*, pages 126–136.

- Fox, M. S. (1981). An organizational view of distributed systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 11(1):70–80.
- Fox, M. S., Barbuceanu, M., Gruninger, M., e Lon, J. (1998). An organizational ontology for enterprise modeling. In Prietula, M. J., Carley, K. M., e Gasser, L., editors, *Simulating Organizations: Computational Models of Institutions and Groups*, chapter 7, pages 131–152. AAAI Press / MIT Press, Menlo Park.
- Franklin, S. e Graesser, A. (1997). Is it an agent or just a program? A taxonomy for autonomous agents. In Müller, J. P., Wooldridge, M., e Jennings, N. R., editors, *Proceedings of the 3rd International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages (ATAL'96)*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1193, pages 21–35, Berlin. Springer.
- Garijo, F., Gómez-Sanz, J. J., Pavón, J., e Massonet, P. (2001). Multi-agent system organization: An engineering perspective. In *Pre-Proceeding of the 10th European Workshop on Modeling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (MAAMAW'2001)*.
- Glaser, N. e Morignot, P. (1997). The reorganization of societies of autonomous agents. In Boman, M. e de Velde, W. V., editors, *Multi-Agent Rationality*, LNAI 1237, pages 98–111, Berlin. Springer.
- Grosz, B. J. e Kraus, S. (1996). Collaborative plans for complex group action. *Artificial Intelligence*, 86:269–357.
- Hannoun, M. (2002). *MOISE: un modèle organisationnel pour les systèmes multi-agents*. Thèse (doctorat), École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.
- Hannoun, M., Boissier, O., Sichman, J. S., e Sayettat, C. (2000). MOISE: An organizational model for multi-agent systems. In Monard, M. C. e Sichman, J. S., editors, *Proceedings of the International Joint Conference, 7th Ibero-American Conference on AI, 15th Brazilian Symposium on AI (IBERAMIA/SBIA'2000), Atibaia, SP, Brazil, November 2000*, LNAI 1952, pages 152–161, Berlin. Springer.
- Horling, B., Benyo, B., e Lesser, V. (2001). Using self-diagnosis to adapt organizational structures. In *Proceedings of the 5th International Conference on Autonomous Agentes (Agents' 01)*.
- Hübner, J. F. (1995). Migração de agentes em sistemas multi-agentes abertos. Dissertação de mestrado, CPGCC da UFRGS, Porto Alegre. <http://www.inf.furb.br/~jomi/pubs/dissertacao/dissertacao.pdf>.
- Hübner, J. F. e Sichman, J. S. (2000). SACI: Uma ferramenta para implementação e monitoração da comunicação entre agentes. In Monard, M. C. e Sichman, J. S., editors, *Proceedings of the International Joint Conference, 7th Ibero-American Conference on AI, 15th Brazilian Symposium on AI (Open Discussion Track)*, pages 47–56, São Carlos. ICMC/USP. <http://www.inf.furb.br/~jomi/pubs/2000/Hubner-iberamia2000.pdf>.
- Iglesias, C., Garrijo, M., e Gonzalez, J. (1999). A survey of agent-oriented methodologies. In *Proceedings of the 5th International Workshop on Intelligent Agents V: Agent Theories*, pages 317–330. Springer-Verlag: Heidelberg.
- Jennings, N. R. e Wooldridge, M. J. (1998). *Agent Technology: foundations, applications, and markets*. Springer Verlag, London.
- Johnson, S. (2001). *Emergence: the connected lives of ants, brains, cities, and software*. Touchstone, New York.
- Kinny, D., Ljungberg, M., Rao, A., Sonenberg, E., Tidhar, G., e Werner, E. (1994). Planned team activity. In Castelfranchi, C. e Werner, E., editors, *Proceedings of the 4th European Workshop on Modeling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (MAAMAW'92), S. Martino el Cimino, Italy, July 1992*, pages 227–256, Berlin. Springer. (LNAI 830).

- Lemaître, C. e Excelente, C. B. (1998). Multi-agent organization approach. In Garijo, F. J. e Lemaître, C., editors, *Proceedings of II Iberoamerican Workshop on DAI and MAS*.
- Levesque, H. J., Cohen, P. R., e Nunes, J. H. T. (1990). On acting together. In Dietterich, T. e Swartout, W., editors, *Proceeding of the Eight National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-90)*, pages 94–99, Menlo Park. AAAI Press / MIT Press.
- Lugo, G. G., Hübner, J. F., e Sichman, J. S. (2001). Representação e evolução de esquemas sociais em sistemas multi-agentes: Um enfoque funcional. In Martins, A. T. e Borges, D. L., editors, *Anais do III Encontro Nacional de Inteligência Artificial*, pages 1237–1246, Fortaleza, Brazil. SBC. <http://www.inf.furb.br/~jomi/pubs/2001/Lugo-enia2001.pdf>.
- Odell, J., Parunak, H. V. D., e Bauer, B. (2000). Extending UML for agents. In *Proceedings of the Agent-Oriented Information Systems Workshop at the 17th National conference on Artificial Intelligence*.
- Pattison, H. E., Corkill, D. D., e Lesser, V. R. (1987). Instantiating description of organizational structures. In Huhns, M. N., editor, *Distributed Artificial Intelligence*, volume 1, chapter 3, pages 59–96. Morgan Kaufmann, London.
- Prasad, M. N., Decker, K., Garvey, A., e Lesser, V. (1996). Exploring organizational design with TÆMS: A case study of distributed data processing. In Ishida, T., editor, *Proceedings of the 2nd International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'96)*, pages 283–290. AAAI Press.
- Rao, A. S. e Georgeff, M. P. (1995). BDI agents: from theory to practice. In Lesser, V., editor, *Proceedings of the First International Conference on MultiAgent Systems (ICMAS'95)*, pages 312–319. AAAI Press.
- Romesín, H. M. e García, F. J. V. (1997). *De máquinas e seres vivos, Autopoiese: A organização do vivo*. Artes Médicas, Porto Alegre, 3 edition.
- Russel, S. e Norvig, P. (1995). *Artificial Intelligence: a modern approach*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Searle, J. R. (1983). *Intentionality: An essay in the philosophy of mind*. Cambridge.
- Sichman, J. S. (1995). *Du Raisonment Social Chez les Agents: Une Approche Fondée sur la Théorie de la Dépendance*. Thèse (doctorat), Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Smith, R. G. (1980). The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver. *IEEE Transaction on Computers*, 29(12):1104–1113.
- So, Y. e Durfee, E. H. (1993). An organizational self-design model for organizational change. In *Proceedings of AAAI93 Workshop on AI and Theories of Groups and Organizations*.
- So, Y. e Durfee, E. H. (1996). Designing tree-structure organizations for computational agents. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 2:3.
- Steels, L. (1990). Cooperation between distributed agents through self-organization. In Demazeau, Y. e Müller, J.-P., editors, *Decentralized Artificial Intelligence*, pages 175–196. Elsevier, Amsterdam.
- Stone, P. e Veloso, M. M. (1999). Task decomposition and dynamic role assignment for real-time strategic teamwork. In Müller, J. P., Singh, M. P., e Rao, A. S., editors, *Proceedings of the 5th International Workshop Agent Theories, Architectures, and Languages (ATAL-98)*, LNCS 1555, pages 293–308, Berlin. Springer.
- Tambe, M. (1997). Towards flexible teamwork. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 7:83–124.
- Tambe, M., Pynadath, D. V., e Chauvat, N. (2001). Building dynamic agent organizations in cyberspace. *IEEE Internet Computing*, 4(2).

- Terabe, M., Washio, A., Katai, O., e Sawaragi, T. (1997). A study of organizational learning in multiagents systems. In Weiß, G., editor, *Distributed Artificial Intelligence Meets Machine Learning: Learning in Multi-Agent Environment*, LNAI 1221, pages 168–179. Springer.
- Weiß, G. (1994). Some studies in distributed machine learning and organizational design. Technical Report FKI-189-94, Institut für Informatik, Technische Universität München. citeseer.nj.nec.com/weiss94some.html.
- Weiß, G., editor (1999). *Multiagent Systems: A modern approach to distributed artificial intelligence*. MIT Press, London.
- Werner, E. (1989). Cooperating agents: A unified theory of communication and social structure. In Gasser, L. e Huhns, M. N., editors, *Distributed Artificial Intelligence*, volume 2, chapter 1, pages 3–36. Morgan Kaufmann, Pitman, London.
- Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley and Sons.
- Wooldridge, M., Jennings, N. R., e david Kinny (1999). A methodology for agent-oriented analysis and design. In *Proceedings of the Third International Conference on Autonomous Agentes (Agent's 99)*. ACM.

A. Arquivo da especificação organizacional da escola

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE OrganizationalSpecification SYSTEM "os.dtd">

<OrganizationalSpecification id="escola">
  <StructuralSpecification>
    <RolesDefinition>
      <Role id="docente"      <extends role="soc" /> </Role>
      <Role id="aluno"       <extends role="soc" /> </Role>
      <Role id="diretor"    <extends role="docente" /> </Role>
      <Role id="professor" <extends role="docente" /> </Role>
    </RolesDefinition>
    <LinksType>
      <LinkType id="acquaintance" />
      <LinkType id="communication" />
      <LinkType id="authority" />
    </LinksType>

    <GroupSpecification id="escola">

      <Links>
        <Link source="docente"
              destination="docente"
              type="communication"
              scope="inter-group"
              extendsToSubGroups="true" />
      </Links>

      <SubGroups>

        <GroupSpecification id="corpodoc">
          <Roles>
            <Role id="professor" />
            <Role id="diretor" />
          </Roles>

          <Links>
```

```

    <Link source="diretor"
          destination="professor"
          type="authority"
          scope="intra-group"
          extendsToSubGroups="true" />
  </Links>

  <ConstrainFormation>
    <Compatibility source="professor"
                  destination="diretor"
                  scope="intra-group"
                  symmetric="false" />
    <Cardinality object="role"
                 id="diretor"
                 min="1" max="1" />
  </ConstrainFormation>
</GroupSpecification>

<GroupSpecification id="turma">
  <Roles>
    <Role id="professor" />
    <Role id="aluno" />
  </Roles>

  <Links>
    <Link source="docente"
          destination="aluno"
          type="authority"
          scope="intra-group"
          extendsToSubGroups="true" />
    <Link source="aluno"
          destination="professor"
          type="communication"
          scope="intra-group"
          extendsToSubGroups="true" />
    <Link source="aluno"
          destination="docente"
          type="acquaintance"
          scope="intra-group"
          extendsToSubGroups="true" />
    <Link source="aluno"
          destination="aluno"
          type="communication"
          scope="inter-group"
          extendsToSubGroups="true" />
  </Links>

  <ConstrainFormation>
    <Compatibility source="aluno"
                  destination="professor"
                  scope="inter-group"
                  symmetric="true" />
    <Cardinality object="role"
                 id="professor"
                 min="1" max="1" />
    <Cardinality object="role"
  
```

```

        id="aluno"
        min="5" max="30" />
    </ConstrainFormation>
</GroupSpecification>

</SubGroups>

<ConstrainFormation>
    <Cardinality object="role"
        id="aluno"
        min="0" max="300" />
    <Cardinality object="grSpec"
        id="corpodoc"
        min="1" max="1" />
</ConstrainFormation>
</GroupSpecification>

</StructuralSpecification>

<FunctionalSpecification>
    <Scheme id="proval" rootGoal="realizarProva" >

        <Plan headGoal="realizarProva" operator="sequence">
            <Goal id="prepararProva" />
            <Goal id="reponderProva" />
        </Plan>

        <Mission id="m42" min="1" max="1">
            <Goal id="realizarProva" />
            <Goal id="prepararProva" />
        </Mission>

        <Mission id="m43">
            <Goal id="reponderProva" />
        </Mission>
    </Scheme>

    <Preference mission="m43" preferable="m42" />
</FunctionalSpecification>

<DeonticSpecification>
    <DeonticOperatorDefinitions>
        <DeonticOperator id="obligation" />
        <DeonticOperator id="permission" />
    </DeonticOperatorDefinitions>

    <DeonticRelation type="obligation"
        role="professor"
        mission="m42"
        timeConstraint="Any" />

    <DeonticRelation type="obligation"
        role="aluno"
        mission="m43"
        timeConstraint="Any" />
</DeonticSpecification>

```

</OrganizationalSpecification>