

# Plataforma MAS-SOC para Simulações Sociais \*

Fabio Y. Okuyama<sup>1</sup>, Rafael H. Bordini<sup>2</sup>, Antônio Carlos da Rocha Costa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PPGC – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Caixa Postal 15064 – 90501-970 Porto Alegre, RS

<sup>2</sup>Department of Computer Science, University of Durham  
Durham DH1 3LE, U.K.

<sup>3</sup>Escola de Informática/PPGINF – UCPel  
96.010-000 Pelotas, RS, Brazil.

okuyama@inf.ufrgs.br, R.Bordini@durham.ac.uk, rocha@atlas.ucpel.tche.br

**Abstract.** *This paper presents a platform for development of agent based simulations. The platform includes the modelling of environments for situated multi-agent systems with features to associate organisational structures to the environment, spatially distributing the normative information over the environment. This is a natural way to simplify the definition of organisational structures and the development of large-scale multi-agent systems. By distributing the normative information in different spatial locations, we allow agents to directly access the relevant normative information needed in each environmental context.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta uma plataforma para desenvolvimento de simulações baseadas em agentes. A plataforma inclui a modelagem de ambientes para sistemas multiagentes situados, com extensões para associar estruturas organizacionais ao ambiente, distribuindo espacialmente a informação normativa. A distribuição da informação normativa é um meio natural para simplificar a definição de estruturas organizacionais e o desenvolvimento de sistemas multiagentes de grande porte. Através da distribuição, nós possibilitamos que os agentes acessem diretamente a informação normativa requerida em cada contexto ambiental.*

## 1. Introdução

Sistemas multiagentes (SMA) são compostos por agentes, um ambiente, estruturas organizacionais e as interações entre estes itens. Estruturas organizacionais para SMA são frequentemente definidas de maneira independente de estruturas espaciais. De maneira mais específica, nos SMA situados as interações entre os agentes são realizadas através do ambiente, de modo que definições de estruturas organizacionais que não levam em consideração estruturas físicas e o escopo espacial de suas atividades geram uma lacuna conceitual entre o ambiente e as estruturas organizacionais.

Nós temos trabalhado em uma plataforma para simulações baseadas em SMA chamada MAS-SOC, apresentada em [Bordini et al. 2005a]. Nesta plataforma é utilizada uma linguagem de descrição de ambientes que foi definida em [Okuyama et al. 2005] e

---

\*Este trabalho tem apoio do CNPq, CAPES and FAPERGS.

estendida em [Okuyama et al. 2006] para permitir a associação do ambiente com uma infraestrutura normativa que integra a representação espacial com as estruturas organizacionais.

Em resumo, nossa plataforma possui características que permitem a contextualização espacial de uma norma e deixam o espaço necessário para a inclusão de estruturas de grupo espacialmente situadas no ambiente físico simulado. Isto é feito da seguinte forma. Primeiramente, a *infraestrutura normativa*, através dos *objetos normativos* e *espaços normativos*, permite a distribuição de informação normativa sobre o ambiente espacial e a definição do escopo espacial das normas. Em segundo lugar, um princípio normativo para *normas situadas*, concebido como uma forma especial de regra condicional, com uma condição explícita sobre a percepção do objeto normativo:

Se um agente estiver realizando um papel relevante a uma norma situada  $\mathcal{N}$  expressa por um objeto normativo, e o agente tiver percebido esse objeto normativo, e o agente estiver fisicamente situado na área a que a norma diz respeito, é esperado do agente que delibere sobre o cumprimento da norma  $\mathcal{N}$ ; caso o agente não esteja realizando um papel relevante para a norma, ou o agente não tenha percebido o objeto normativo, ou o agente não se encontre na área a que a norma diz respeito, o agente está isento de deliberar sobre a norma.

Na próxima seção, o trabalho é contextualizado apresentando-se a plataforma e os componentes utilizados na modelagem de um sistema multiagente. Na seção 3, revisamos brevemente como o ambiente é modelado utilizando nossa abordagem. Na seção 4, apresentamos as estruturas para definição da infraestrutura normativa. Na seção 5, apresentamos uma visão geral da modelagem de um SMA utilizando a plataforma MAS-SOC. Alguns trabalhos relacionados são comentados na seção 6, seguidos pela conclusão do artigo.

## 2. A Plataforma MAS-SOC

O objetivo principal da plataforma MAS-SOC (**M**ulti-**A**gent **S**imulations for the **S**OCial Sciences) é prover ao usuário uma ferramenta para a criação de simulações baseadas em agentes que não exijam grande experiência de programação por parte de seus usuários. Não obstante, esta deve possibilitar o uso de tecnologias de agentes do estado-da-arte, mais especificamente, esta deve permitir o projeto e implementação de simulações com agentes *cognitivos*.

Em nossa abordagem, o raciocínio individual dos agentes é especificado com o uso de uma versão estendida da linguagem AgentSpeak [Rao 1996]. Esta linguagem é interpretada com o uso do *Jason* [Bordini et al. 2005b] que oferece características estendidas, entre as quais comunicação entre agentes com uso de atos de fala. Este interpretador está em constante desenvolvimento, tendo um trabalho em andamento para permitir o uso de ontologias como parte da base de crenças de um agente. O *Jason* é uma plataforma de código aberto baseado em JAVA (disponível em <http://jason.sf.net>).

O ambiente físico simulado onde os agentes se situam é especificado na linguagem ELMS, uma linguagem projetada para a descrição e simulação de ambientes multiagentes [Okuyama et al. 2005]. Para possibilitar uma maior integração com estruturas organizacionais, foram feitas extensões ao ELMS para permitir a definição de uma

infraestrutura normativa. É importante observar que tais extensões não formam uma abordagem para modelagem de organizações, servem apenas para integrar estruturas organizacionais ao ambiente. Os *objetos normativos*, *espaços normativos* e *supervisores de normas* foram projetados para preencher a lacuna conceitual existente entre ambiente e organizações, sendo um reflexo de uma organização sobre o ambiente. Maiores detalhes sobre o MAS-SOC podem ser encontrados em [Bordini et al. 2005a].

### 3. Modelagem de Ambientes Multiagentes

De acordo com [Wooldridge 1999], agentes são sistemas computacionais situados em um ambiente, que são capazes de ações autônomas neste ambiente para atingir os objetivos aos quais foram projetados. Agentes em um sistema multiagente interagem com o ambiente onde estão situados e interagem entre si, normalmente através do ambiente compartilhado. Portanto, o ambiente tem um importante papel em um sistema multiagente, seja o ambiente a Internet, o mundo real, ou algum ambiente simulado. Conforme apresentado em [Okuyama et al. 2005], foi desenvolvida uma linguagem para a descrição e simulação de ambientes.

Nós entendemos como modelagem de ambientes, a modelagem de aspectos externos que um agente precisa como entrada para seu raciocínio e decisão de seu curso de ação. Em um cenário multiagente, como um agente percebe outro é um aspecto importante. Portanto, a modelagem explícita de “corpos” de agentes (ou avatares) deve ser incluída na modelagem de ambientes. Além disso, é necessário modelar explicitamente as ações físicas e as capacidades de percepção que os agentes podem realizar em um dado ambiente. A linguagem que criamos para a modelagem de ambientes é chamada ELMS (**E**nvironment **D**escription **L**anguage for **M**ulti-**A**gent **S**imulation). A seguir, descrevemos brevemente como um ambiente físico é descrito usando esta linguagem.

#### 3.1. Definindo os Agentes no Ambiente

Na modelagem dos ambientes, os agentes são definidos através da definição do *corpo* do agente, das capacidades sensoriais do agente e as capacidades do agente de realizar ações.

É referido como *corpo* do agente as características que são perceptíveis para outros agentes. Na linguagem ELMS, classes de *corpos* de agentes são definidos por um conjunto de propriedades que o caracterizam e são perceptíveis para outros agentes. Tais propriedades são representadas por atributos *string*, *integer*, *float* e *boolean*. Cada *corpo* é associado com um conjunto de ações que o agente pode realizar e o as propriedades do ambiente que o agente pode perceber.

Cada classe de *corpo* de agente tem suas capacidades sensoriais (percepções) definidas. Cada capacidade sensorial é usada para especificar quais propriedades do ambiente serão perceptíveis para cada agente que tenha um *corpo* com tal capacidade. Desta forma são definidas as propriedades que serão enviadas para o agente e as circunstâncias específicas onde é possível realizar tal percepção. Por exemplo, um agente pode *ver* em um raio de 2 células apenas se não houver nada obstruindo sua visão. A definição de um tipo de percepção é formada por um nome, uma lista opcional de pré-condições e uma lista de propriedades perceptíveis. Se todas as pré-condições são satisfeitas, então os valores destas propriedades serão disponibilizados para o raciocínio do agente como resultado da percepção do ambiente. Note que a percepção pode ser baseada na posição

do agente, porém não é obrigatório. Qualquer tipo de percepção pode ser definido pelo projetista do ambiente, de acordo com as necessidades da simulação. Ainda sobre as percepções, é importante observar que os agentes usualmente não recebem informações completas e precisas sobre todo o ambiente onde os agentes se encontram. Todavia, como tal restrição não é imposta pelo modelo ELMS, os projetistas podem optar por criar ambientes completamente acessíveis se isto for apropriado em uma determinada aplicação.

As capacidades dos efetores dos agentes (ações) são as capacidades de realizar ações sobre o ambiente, estas são definidas como disponíveis para cada classe de *corpo* de agente. Cada definição de ação determina as mudanças no ambiente que esta ação pode realizar sobre o ambiente. As mudanças são definidas como uma seqüência de atribuição de valores para valores do ambiente<sup>1</sup>. A produção (instanciação) de recursos (objetos) previamente definidos e o consumo (deleção) de instâncias existentes podem também fazer parte de uma definição de uma ação. Além disso, as pré-condições sob as quais uma ação pode ser realizada devem ser especificadas.

Sobre as ações, é importante verificar que para manter a coerência do ambiente as ações devem ser definidas de maneira *atômica*. Como a escolha de encadeamento de ações devem ser responsabilidade da *mente* dos agentes, os possíveis seqüenciamentos das ações não devem estar pré-definidos no ambiente.

### 3.2. Modelagem do Ambiente

O ambiente é modelado através da definição dos objetos e recursos disponíveis no ambiente, as reações que podem ser produzidas por tais objetos quando eles são manipulados e a definição da estrutura espacial do ambiente.

Apesar de conceitualmente diferentes, objetos e recursos são representados pela mesma estrutura no ELMS. Utilizando a linguagem ELMS, as classes de objetos e recursos que estão presentes no ambiente são definidas por um conjunto de propriedades que são relevantes para a modelagem e podem ser percebidos pelos agentes. Uma definição de uma classe de recurso é composta pelo nome, uma lista de atributos e um conjunto de reações.

Cada instância de um objeto pode *reagir*, em condições específicas, respondendo a ações realizadas pelos agentes no ambiente. Cada reação é definida por seu nome, uma lista de pré-condições e uma seqüência de comandos. Assim como nas ações, a seqüência de comandos de uma reação pode ser composta por atribuição de valores, criação de instâncias de classes de objetos e deleção de instâncias de objetos. Diferentemente das ações, todas as reações ativadas por alguma mudança no ambiente são executadas em um mesmo ciclo de simulação.

A representação da estrutura espacial do ambiente pode ser feita por uma grade ou um grafo, de acordo com as necessidades aplicação. Para aplicações onde um posicionamento preciso dos agentes e objetos é relevante, a grade é a opção mais apropriada. Caso contrário, quando os aspectos lógicos da representação espacial são mais relevantes, o grafo é a opção mais adequada. Ambas as representações espaciais são opcionais, porém não exclusivas, isto é, se alguma aplicação específica necessitar, ambas as representações podem ser usadas simultaneamente.

---

<sup>1</sup>Note que as propriedades dos corpos de agentes também são propriedades do ambiente.

Optando-se pela grade, o espaço é dividido em células formando uma grade de 2 ou 3 dimensões. Assim como os recursos, cada célula pode ter reações associadas a elas. No caso do grafo, o espaço é dividido em nodos que são interligados por arestas ou arcos, assim como as células de uma grade, cada nodo do grafo representa uma localização espacial, onde reações podem ocorrer em resposta a ações realizada sobre esta. As arestas podem ter pesos ou valores associados de acordo com as necessidades da aplicação.

#### **4. Infraestrutura Normativa Espacialmente Distribuída**

De maneira genérica, existem no ambiente alguns objetos que têm o objetivo de informar os agentes sobre normas, dar algum aviso ou advertir sobre perigos em potencial. Por exemplo, um cartaz fixo na parede de uma biblioteca escrito “Silêncio” é um objeto que faz parte do ambiente, mas também informa sobre uma norma que deve ser respeitada naquele espaço. Outro exemplo são os sinais de trânsito, que avisam sobre direções ou regulam a preferência em cruzamentos, por exemplo. A existência de tais sinais, que nós chamamos *objetos normativos*, implica na existência de um código regulador em tal contexto, e tal código é formado pelo que referimos como *normas situadas*. Uma norma situada é formada por uma norma associada à informações sobre contexto e escopo espacial onde esta é válida.

Nos exemplos acima, as normas devem ser seguidas em um contexto com limites específicos de espaço e tempo e perdem seu efeito completamente se as restrições de espaço e tempo não são respeitadas, o que é a motivação para a existência das normas situadas. Outra vantagem importante da modelagem com o uso das normas situadas é o fato que o contexto espacial onde a norma deve ser seguida é imediatamente determinado. Desta forma, a norma pode ser “pré-compilada” para sua forma *situada*, tornado-se assim mais fácil para os agentes operacionalizarem a norma e também para a verificação de aderência às normas.

Nesta seção apresentamos as extensões ao ELMS que são destinadas a prover uma infraestrutura que permite a distribuição de informação normativa em um ambiente. Tal infraestrutura tem como objetivo ser um ponto de conexão entre o ambiente e as estruturas organizacionais, melhorando significativamente as possibilidades de nossa plataforma de simulação. Mais especificamente, apresentamos um conjunto de conceitos que formam uma infraestrutura para distribuição espacial de normas. Este conjunto contém os *objetos normativos*, *espaços normativos* e *supervisores de normas*, que possibilitam realizar o processo de *contextualização espacial de normas*. Esta infraestrutura, em nossa opinião, facilita a modelagem e a simulação de várias situações, as quais podem ser úteis para testar diferentes abordagens metodológicas, com o objetivo de atingir uma melhor coordenação de um sistema multiagente de grande escala.

##### **4.1. Objetos Normativos**

A noção de *objetos normativos* pode ser relacionada a cartazes existentes em locais públicos tais como bibliotecas ou restaurantes que dizem “mantenha o silêncio” ou “proibido fumar”. Este mecanismo é usualmente utilizado entre humanos para descentralizar o serviço de regular o comportamento social, porque as pessoas adotam estas normas ou convenções quando têm acesso visual a tais cartazes. Isto aplicado para sistemas computacionais pode ser igualmente eficiente, especialmente para agentes, pois

evita a necessidade de ter todas as normas implementadas nos agentes ou a necessidade de prover uma completa e exaustiva representação de todas as normas sociais em uma única estrutura acessada por todos os agentes, tal como é normalmente feito em diversas abordagens de organizações de agentes.

*Objetos normativos* podem ser *lidos* por agentes em condições específicas, ou seja, um agente pode ler uma regra específica se este tiver uma habilidade específica para perceber aquele tipo de objeto. No caso mais típico, a condição poderia ser simplesmente estar fisicamente próximo ao objeto.

Uma definição de um objeto normativo contém, além da norma, meta-informações da norma. Os objetos podem ser definidos antes do início da simulação em um “arquivo de definição de normas” ou durante a simulação. Em ambos os casos, são definidos o *tipo* da informação contida, a origem da norma, a norma, o posicionamento do objeto, a condição de acesso e um rótulo de identificação da norma. Estes campos são detalhados a seguir:

**Tipo:** o tipo de informação normativa contida no objeto; determina o nível de importância (aviso, obrigação, direção);

**Emissor:** agente ou grupo que emitiu a norma; o emissor da norma *não* é necessariamente o mesmo agente que instanciou o objeto;

**Origem:** define a origem do poder que sustenta a norma; o papel que estava sendo desempenhado pelo agente na emissão da norma e a instituição que permitiu a emissão da norma;

**Norma:** uma *string* que representa a informação normativa; esta deve estar no formato de um predicado AgentSpeak; para uma maior uniformidade na representação da norma optou-se por adotar a linguagem REI [Kagal et al. 2003], apesar de ser possível utilizar outro formato desde que os agentes estejam preparados para processar;

**Posicionamento:** o conjunto de espaços normativos onde a informação normativa se aplica;

**Condição:** conjunto de condições sob as quais a informação normativa pode ser percebida; as condições podem ser associadas com grupos, papéis, habilidades, posição espacial e orientação de agentes e objetos;

**Rótulo:** uma *string* de identificação para uma eventual deleção ou edição do objeto normativo.

Uma observação importante é que o comportamento de aderência às normas não está relacionado apenas com a existência de um objeto normativo em algum lugar. Além da existência de tal objeto, é necessário que o agente perceba o objeto e seja capaz de interpretar a norma; e no caso de agentes autônomos, que eles raciocinem sobre sua opção de seguir ou não a norma indicada pelo objeto normativo.

## 4.2. Espaços Normativos

Como mencionado anteriormente, foi desenvolvida uma linguagem para descrição de ambientes para sistemas multiagente situados. A descrição, baseada em conceitos de corpos de agentes, recursos e uma representação espacial, foi estendida para prover meios para definir a noção de “espaços normativos”. Por *espaço normativo* (*normative places*), nos referimos a um região espacial onde um conjunto de atividades relacionadas é realizado

ou onde grupos de agentes estão interagindo. Estes locais são utilizados para representar o local físico ao qual uma estrutura organizacional está relacionada, ou seja, um *espaço normativo* é o escopo espacial de uma organização e conseqüentemente das normas relacionadas a tal organização.

Nos *espaços normativos*, as normas expressas através dos objetos normativos são relevantes. Por exemplo, considere um grupo de pesquisa cujos agentes *pesquisadores* fazem seu trabalho tanto em um laboratório quanto em uma biblioteca. No laboratório, as interações possíveis entre os pesquisadores, equipe de apoio e ambiente são específicas para o cenário espacial do laboratório. A informação sobre como agir na biblioteca é definida especificamente para o espaço físico da biblioteca, onde os pesquisadores irão assumir o papel de *usuários* da biblioteca. A informação normativa relevante para cada local é armazenada em nesse local com o uso dos objetos normativos.

Um *espaço normativo* é definido pelo seu nome e o conjunto de células ou nodos que são parte deste. Para cada espaço normativo deve ser definido um conjunto de papéis que podem ser realizados em tal local, as relações organizacionais entre estes papéis sendo especificadas através de *objetos normativos*.

Os papéis admissíveis em cada espaço normativo são estritamente relativos às funções que estão sendo realizadas neste local, o que pode não ter uma relação direta entre papéis existente em uma outra organização. Por exemplo, em um espaço normativo *rua*, um agente com um carro terá o papel de *motorista*, enquanto outro sem carro terá o papel de *pedestre*. Em tal caso, do ponto de vista do projeto do ambiente e sua infraestrutura normativa, os agentes estão simplesmente movendo de um ponto a outro, independentemente de qualquer outro objetivo que eles possam ter.

Os papéis admissíveis em cada espaço normativo podem ser associados a classes de agentes, ou pode ser atribuído um papel *default* para o agente, até que este se identifique e adote determinado papel. Por exemplo, em um website de um banco, um agente pode visualizar informações públicas anonimamente, porém se quiser ter acesso a informações restritas de sua conta, este deverá realizar uma autenticação (por exemplo, através de nome de usuário e senha), deixando o papel de visitante anônimo comum para assumir o papel de correntista identificado, adquirindo acesso a direitos específicos deste papel.

A área abrangida por um espaço normativo pode aumentar ou diminuir durante a simulação, uma vez que se trata de ambientes possivelmente dinâmicos que podem estar associados com organizações possivelmente dinâmicas. Desta forma a área de influência de uma organização pode se expandir ou reduzir dinamicamente, de acordo com as necessidades da aplicação, bastando apenas alterar o conjunto de células ou nodos definidos para aquele espaço normativo, ou pelo deslocamento de objetos normativos, ou pela criação de novos objetos normativos.

### **4.3. Contextualização Espacial de Normas**

O objetivo dos objetos normativos não é simplesmente servir como meio para divulgar normas genéricas. As normas informadas através dos objetos normativos devem ser contextualizadas (pelo projetista ou pelo agente emissor da norma), incorporando informações específicas para o espaço normativo onde esta é relevante.

Como o contexto espacial da norma é limitado e determinado pelos espaços nor-

mativos, uma norma genérica pode ser *pré-compilada* com tal informação, para que esta se torne menos abstrata. Este processo tem como objetivo facilitar a operacionalização das normas, já que a norma se encontra “pronta para uso” no contexto espacial onde é relevante. Entre as vantagens de ter normas menos abstratas está a de facilitar a verificação de aderência às normas e também a redução dos erros de interpretação que podem ocorrer com normas abstratas não-contextualizadas.

Por exemplo uma norma com o conteúdo: “seja gentil com os idosos”, pode ser um tanto difícil de se operacionalizar e verificar, de maneira geral. Porém, em um contexto espacial fixo, tal como um ônibus ou metrô, a norma poderia ser contextualizada como: “Ceda seu assento para os idosos”, ou em um cruzamento de avenidas: “ajude os idosos a atravessar a rua”. Desta forma a norma seria muito mais facilmente interpretada pelos agentes e conseqüentemente muito mais facilmente verificada por algum mecanismo de verificação de normas.

#### **4.4. Supervisores de Normas**

Os agentes *supervisores de normas* são uma classe especial de agentes que podem monitorar a aderência às normas em um SMA. Os agentes supervisores de normas podem ser agentes internos à infraestrutura projetados especificamente para tal função ou agentes autônomos com tal funcionalidade habilitada.

Considerando que os agentes são autônomos para decidir se seguem ou não uma norma indicada por um objeto normativo, existe a necessidade de monitorar o comportamento destes agentes. Para ser capaz de agir como um supervisor de normas, um agente pode precisar de informações e habilidades extras. Para isto, é necessário definir o agente como *agente supervisor*, o que irá habilitá-lo a receber informações sobre as normas relevantes e as ações sendo realizadas por outros agentes em um dado espaço normativo.

A monitoração dos agentes pode ser parte do sistema, para evitar abusos ou testar estratégias de coordenação ou cooperação. Porém para os agentes que compartilham o mesmo ambiente, podem ser de interesse que alguns agentes sigam certas regras. Por exemplo, de acordo com [Conte and Castelfranchi 1995], um agente pode ser motivado a verificar a aderência às normas por outros agentes para assegurar que os custos da aderência estão sendo “pagos” pelos outros agentes também. Um agente que segue as regras irá querer que todos os outros agentes sujeitos às normas também sigam esta, caso contrário, o comportamento de seguir as regras pode se tornar uma desvantagem competitiva. Em [Conte and Castelfranchi 1995], estes agentes são referidos pelos autores como *defensores das normas*.

É importante notar que os supervisores de normas não têm como objetivo intrínseco impedir ou interromper a infração de regras por outros agentes. Os agentes supervisores são agentes que têm acesso a informações extras para serem capazes de verificar a aderência às normas. O projetista da aplicação pode habilitar tal capacidade em um agente apenas para facilitar que o agente atinja seu objetivo, para usar esta informação para monitorar a aplicação ou como entrada pra um sistema de reputação, entre outras possibilidades.

Como as normas e as possíveis violações estão contextualizadas e limitadas pelo espaço normativo, a verificação de violações às normas é facilitada. Através do uso de regras simples, um supervisor de normas pode verificar o cumprimento das normas e



então de acordo com as capacidades deste, este poderá interromper um curso de ação de outro agente, atribuir penalidades ou simplesmente informar o fato para uma instituição ou usuário.

## 5. Modelando Ambientes usando ELMS

Como a plataforma MAS-SOC não exige uma metodologia de engenharia de software orientada a agentes, o projetista pode usar aquela a que melhor se adapta. É possível modelar um SMA com um ambiente ELMS iniciando tanto pela estrutura organizacional (top-down) ou pelos agentes e interações (bottom-up).

Em ambas as abordagens a modelagem de estruturas organizacionais e o raciocínio do agente podem precisar de uma “sintonização” para alcançar os resultados desejados. Para ter um ponto estável que sirva de base para a sintonização do raciocínio dos agentes ou do modelo de organização, sugerimos o uso da descrição explícita de ambientes definido na linguagem ELMS. O ambiente é uma importante parte do sistema multiagente e apesar deste poder ser muito dinâmico, do ponto de vista do projeto, este é normalmente a parte mais estável do sistema.

Mesmo quando o ambiente de um SMA é o “*mundo real*” e o agente é um robô com sensores e efetores, o ambiente tem um importante papel no projeto do sistema. Qualquer robô deve ter um conjunto de sensores que informam um conjunto predefinido de percepções que ele irá receber do ambiente. Além disso, o robô deverá ter um conjunto de efetores que permitem um conjunto restrito de ações parametrizáveis. Portanto, as possíveis entradas dos sensores e os resultados dos efetores devem ser modelados primeiramente para facilitar o desenvolvimento do software do robô.

Com base nestas observações, nós sugerimos que o projeto do SMA inicie com a definição do ambiente, seguido da definição dos espaços normativos. A modelagem do ambiente poderá ser feita da seguinte forma:

1. Definição de quais tipos de ações cada classe de agente é capaz de realizar no ambiente. As ações produzem tipicamente efeitos nos objetos do ambiente e em agentes.
2. Com base nos requisitos da simulação a escolha entre o grafo e a grade pode ser feita (ver seção 3.1).
3. A partir das mudanças que as capacidades efetivas dos agentes podem fazer sobre o ambiente e o objetivos da simulação, o tamanho e a granularidade da grade ou o número de nodos do grafo podem ser determinados. Por exemplo, quantas células ou nodos um agente pode atravessar em uma ação ou ciclo de simulação e em quantos ciclos de simulação o agente seria capaz de atravessar o espaço simulado.
4. Com base na granularidade e o tamanho do ambiente espacial, as capacidade sensorial podem ser modeladas, determinando por exemplo, a que distâncias um agente pode detectar outros agentes e objetos.
5. De acordo com as capacidades sensoriais do agente e suas atividades típicas, deve ser possível definir atributos que este agente deve ter como acessíveis para outros agentes. Por exemplo se os agentes identificam os papéis dos outros agentes através da cor de seu uniforme, no “corpo do agente” deverá haver um atributo que represente a cor do uniforme do agente.

6. Os tipos de objetos ou recursos presentes no ambiente também devem ser modelados baseados em quais atributos serão relevantes para as percepções dos agentes e quais ações podem afetá-los.
7. Concluindo, as instâncias de classes agentes e objetos podem ser posicionados no ambiente, determinando seu estado inicial.

Após a definição do ambiente, sugerimos que sejam definidas a infraestrutura normativa, como apresentado abaixo:

1. Conforme os recursos e instâncias de agentes são posicionados no ambiente, as atividades para cada local espacial podem ser definidas.
2. Agrupando-se as células (ou nodos) vizinhas onde atividades similares são realizadas, os espaços normativos e sua área podem ser definidos.
3. Com base nas atividades realizadas em um espaço normativo, os papéis podem ser definidos (ver seção 4.2).
4. Com os papéis definidos, o relacionamento entre estes podem ser definidos (ligações organizacionais).
5. Ao instanciar espaços normativos em conjunto de células ou nodos os *espaços normativos* são criados.
6. Então, baseado no conjunto de atividades que podem ser realizadas em cada espaço normativo, as normas relevantes para cada tipo de local podem ser definidas.
7. Finalizando, os tipos de objetos que podem ser definidos e instanciados em espaços normativos, definindo os locais onde as normas situadas podem ser percebidas.

Utilizando-se o ambiente como base, isto é, usando a informação contida no modelo do ambiente, o raciocínio do agente pode ser modelado de maneira que estes atinjam seus objetivos assim como os objetivo dos grupos aos quais eles pertencem. Além disso, o ajuste fino das possíveis estruturas organizacionais pode ser realizado, para que o sistema como um todo atinja seus objetivos sociais. Na plataforma MAS-SOC, é utilizado o AgentSpeak para definir o raciocínio prático para cada agente, mais especificamente, utilizamos a versão estendida do AgentSpeak interpretado pelo **Jason**, para mais detalhes veja [Bordini et al. 2005b].

## 6. Trabalhos Relacionados

A noção de *artefatos* [Viroli et al. 2005] e *artefatos de coordenação* [Omicini et al. 2004] se assemelha, em alguns aspectos, nossa noção de *objetos normativos*. Como definido em [Omicini et al. 2004], *artefatos de coordenação* são abstrações que têm como objetivo melhorar a automação de atividades de coordenação, sendo peças para a construção de ambientes de trabalho, colaborativos, compartilhados e efetivos. Estes são definidos como abstrações em tempo-de-execução que encapsulam e fornecem um serviço de coordenação aos agentes. Artefatos [Viroli et al. 2005] são apresentados como uma generalização dos *artefatos de coordenação*, que podem representar ferramentas, serviços, objetos e entidades em um sistema multiagente.

Como peças para construção de um ambiente, os artefatos encapsulam as características do ambiente como serviços a serem usados pelos agentes. O objetivo principal dos artefatos de coordenação é ser usado como uma abstração de um serviço de

coordenação ambiental fornecido para os agentes. Todavia, os artefatos de coordenação expressam regras normativas apenas implicitamente, através dos seus efeitos práticos sobre as ações dos agentes e desta forma torna desnecessário o raciocínio normativo da parte dos agentes. Em nosso trabalho, ao invés de ter uma noção geral de objetos que através de suas propriedades físicas facilitam a coordenação, *objetos normativos* são usado especificamente para armazenar informações *simbólicas* que podem ser interpretadas pelos agentes, de forma que eles podem tomar conhecimento das normas que devem ser seguidas em um contexto bem definido. Nossa escolha em relação aos objetos normativos tem a vantagem de manter aberta a possibilidade da autonomia do agente, como sugerido em [Castelfranchi et al. 1999]. Agentes são, em princípio, capazes de decidir se seguem as normas enquanto tentam ser efetivos na busca de seus objetivos. Isto pode não ser possível se a ação do agente somente puder ocorrer se este estiver de acordo com normas implícitas ditadas pelos mecanismos de coordenação. Outra importante diferença é que os objetos normativos são espacialmente distribuídos sobre o ambiente físico, com um escopo espacial onde são relevantes e integrados à organização que está fisicamente localizada naquele espaço. Enquanto o objetivo da abstração dos artefatos de coordenação é remover o *peso* da coordenação dos agentes, nosso trabalho tenta simplificar o modo com que os projetistas podem guiar o comportamento de cada agente enquanto estes se movem em um ambiente onde as organizações são espacialmente localizadas, o que permite que os agentes adaptem seu comportamento a contextos sociais diferentes.

Em [Ferber et al. 2005], os autores apresentam o modelo AGRE, uma extensão do seu modelo anterior AGR. Estas extensões permitem a definição de estruturas que representam o espaço físico. A abordagem define estruturas organizacionais (grupos e papéis) e as estruturas físicas (espaços) como especializações de um espaço genérico. Porém acreditamos que nesta abordagem, as estruturas sociais não estão contextualizadas no espaço da mesma maneira que em nosso trabalho, deixando as estruturas físicas e sociais desagregadas.

## 7. Conclusão

Acreditamos que uma descrição explícita do ambiente é uma parte importante em um SMA, pois fornece um ponto estável de onde o raciocínio do agente e as estruturas organizacionais podem ser ajustadas, facilitando o desenvolvimento dos agentes e organizações para atingirem seus objetivos. Este artigo apresenta uma abordagem que integra ambientes físicos simulados e estruturas normativas no contexto de uma plataforma de simulação baseada em agentes.

Note que a infraestrutura normativa não é uma abordagem para modelar a dimensão da organização de um SMA. Com a definição de *espaços normativos*, onde estruturas de grupo podem ser situadas, pretendemos preencher uma lacuna conceitual na maneira pela qual ambientes e organizações são usualmente modelados. Acreditamos que a noção de uma *infraestrutura normativa espacialmente distribuída* que usamos em nossa plataforma é uma abordagem apropriada para conectar a modelagem de organizações e a modelagem de ambientes, sendo a infraestrutura normativa um reflexo da organização sobre o ambiente.

Através da distribuição de informação normativa no ambiente, é possível particionar o ambiente de modo funcional, facilitando assim a definição estruturada de grandes

simulações com grandes organizações, associando-se as normas apenas com os locais onde estas são relevantes. Isto é também mais eficiente, pois tira partido da distribuição natural de certos ambientes, tendo normas espalhadas no ambiente, ao invés de ter um repositório centralizado disponível para todos os agentes, como é normalmente feito. Outra vantagem de ter a informação distribuída é a possibilidade da *pré-compilação* das normas no contexto espacial, o que referimos como *normas situadas*. As *normas situadas* facilitam a operacionalização das normas, tanto para seu cumprimento quanto para verificação de de aderência

Como trabalho futuro, pretendemos tornar possível a associação de nosso trabalho com abordagens existentes para modelagem de organizações, tais como *MOISE*<sup>+</sup> [Hübner et al. 2002], *OperA/OMNI* [Vázquez-Salceda et al. 2005], e abordagens baseadas em instituições eletrônicas [Esteva et al. 2004]. Além disso, existem conseqüências interessantes da distribuição de informação normativa que podem ser assunto de trabalhos futuros. Por exemplo, com as normas espalhadas sobre o ambiente em diferentes escopos espaciais, podem resultar diferentes reputações para os agentes, em cada escopo espacial do ambiente, levando a uma noção de *localidade da reputação*. Outro aspecto interessante e que, sendo condicionados a verificar a existência de um objeto normativo, o raciocínio normativo requerido dos agentes que lidam com objetos normativos é de natureza não-monotônica, de modo que experimentos com a programação de tal raciocínio em *AgentSpeak* fazem parte dos trabalhos a serem realizados.

## Referências

- Bordini, R. H., Costa, A. C. d. R., Hübner, J. F., Moreira, I. F., Okuyama, F. Y., and Vieira, R. (2005a). *MAS-SOC: a social simulation platform based on agent-oriented programming*. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 8(3).
- Bordini, R. H., Hübner, J. F., and Vieira, R. (2005b). *Jason* and the Golden Fleece of agent-oriented programming. In Bordini, R. H., Dastani, M., Dix, J., and El Fallah Seghrouchni, A., editors, *Multi-Agent Programming: Languages, Platforms and Applications*, chapter 1. Springer-Verlag.
- Castelfranchi, C., Dignum, F., Jonker, C. M., and Treur, J. (1999). Deliberative normative agents: Principles and architecture. In *6th International Workshop on Intelligent Agents VI, Agent Theories, Architectures, and Languages (ATAL)*, Lecture Notes In Computer Science, Vol. 1757, pages 364–378, London. Springer-Verlag.
- Conte, R. and Castelfranchi, C. (1995). *Cognitive and Social Action*. UCL Press, London.
- Esteva, M., Rosell, B., Rodríguez-Aguilar, J. A., and Arcos, J. L. (2004). *Ameli: An agent-based middleware for electronic institutions*. In *AAMAS*, pages 236–243. IEEE Computer Society.
- Ferber, J., Michel, F., and Báez-Barranco, J.-A. (2005). *AGRE: Integrating environments with organizations*. In Weyns, D., Parunak, H. V. D., and Michel, F., editors, *Environments for Multi-Agent Systems, First International Workshop, E4MAS 2004, New York, NY, USA, July 19, 2004, Revised Selected Papers*, volume 3374 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 48–56. Springer.
- Hübner, J. F., ao Sichman, J. S., and Boissier, O. (2002). *MOISE*<sup>+</sup>: Towards a structural, functional, and deontic model for MAS organization. In *Proceedings of the First*

*International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS'2002), Bologna, Italy.*

- Kagal, L., Finin, T. W., and Joshi, A. (2003). A policy language for a pervasive computing environment. In *4th IEEE International Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks (POLICY 2003), 4-6 June 2003, Lake Como, Italy*, pages 63–74.
- Okuyama, F. Y., Bordini, R. H., and da Rocha Costa, A. C. (2005). ELMS: An environment description language for multi-agent simulation. In Weyns, D., Parunak, H. V. D., and Michel, F., editors, *Environments for Multi-Agent Systems, First International Workshop, E4MAS 2004, New York, NY, USA, July 19, 2004, Revised Selected Papers*, volume 3374 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 91–108. Springer.
- Okuyama, F. Y., Bordini, R. H., and da Rocha Costa, A. C. (2006). Spatially distributed normative objects. In et al., G. B., editor, *Proceedings of the International Workshop on Coordination, Organization, Institutions and Norms in Agent Systems (COIN), held with ECAI, Riva del Garda, Italy, 28 August 2006*. To appear in Springer LNCS Series.
- Omicini, A., Ricci, A., Viroli, M., Castelfranchi, C., and Tummolini, L. (2004). Coordination artifacts: Environment-based coordination for intelligent agents. In *AAMAS'04*.
- Rao, A. S. (1996). AgentSpeak(L): BDI agents speak out in a logical computable language. In Van de Velde, W. and Perram, J., editors, *Proceedings of the Seventh Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (MAAMAW'96), 22–25 January, Eindhoven, The Netherlands*, number 1038 in *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 42–55, London. Springer-Verlag.
- Vázquez-Salceda, J., Dignum, V., and Dignum, F. (2005). Organizing multiagent systems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 11(3):307–360.
- Viroli, M., Omicini, A., and Ricci, A. (2005). Engineering MAS environment with artifacts. In Weyns, D., Parunak, H. V. D., and Michel, F., editors, *2nd International Workshop “Environments for Multi-Agent Systems” (E4MAS 2005)*, pages 62–77, AAMAS 2005, Utrecht, The Netherlands.
- Wooldridge, M. (1999). Intelligent agents. In Weiß, G., editor, *Multiagent Systems—A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, chapter 1, pages 27–77. MIT Press, Cambridge, MA.