

# Uma Pesquisa em artigos Sistemas Multi-Agentes e Simulações Sociais sob o foco da ciência cognitiva

Marcelo Luiz Jacoby Muniz

Faculdade de Engenharia Elétrica  
Universidade Estadual de Campinas  
Av. Albert Einstein, 400 - Campinas-SP Brasil  
[marcelomuniz@ieee.org](mailto:marcelomuniz@ieee.org)

**Resumo:** A utilização de sistemas multi-agentes associados às ciências cognitivas é recente. Para cada teoria que se buscar estudar, é criado um novo ambiente com desafios e regras próprias. Podem-se dividir as simulações em dois tipos: as que buscam que os agentes evoluam e criem/incorporem novas habilidades que vemos em sociedades e as que buscam melhor simular uma mente humana já evoluída. Este artigo inicia-se buscando os mais simples modelos de agentes e de interação social, evoluindo em direção as preocupações da sociologia e antropologia. A seguir são descritos atuais e interessantes experimentos feitos nestes ambientes, incluindo auto-regulação social através do conceito de reputação e a análise de um sistema multi-agente como um sistema composto de um único agente.

**Palavras-chave:** Ciência Cognitiva, Sistemas Multi-agentes, Sociedades Artificiais

## Introdução

Ao estudar cognição, percebemos a existência de dois tipos de conhecimento que um agente possui: os de origem individual e os de origem social. As teorias relacionadas aos fenômenos sócio-culturais se encontram na antropologia e sociologia. A riqueza do conhecimento sócio-cultural evolui dinamicamente, análoga a um procedimento de propagação reversa (*backpropagation*). Para poder validar teorias vindas destes campos e analisar aspectos de cognição que apenas aparecem e evoluem com a interação entre agentes, a ciência cognitiva precisa dos Sistemas Multi-Agentes (SMA) como *framework*, uma ferramenta técnica. Os SMA também precisam das ciências cognitivas, pois elas trazem modelos mais realistas das interações entre os agentes do sistema.

Considerando esta relação interdisciplinar, foi feito um estudo em artigos selecionados buscando, sob a visão de um cientista cognitivo, introduzir os Sistemas Multi-Agentes e resumir as principais questões que estão sendo levantadas e respondidas, além de mostrar o nível de complexidade atual das teorias que são testadas.

## Emergindo Sociedades Artificiais

Agentes baseados em redes neurais tendem a ser simples porque eles precisam adquirir suas habilidades e comportamentos exclusivamente através da evolução ou aprendizado. Mesmo embora criaturas artificiais sejam, em geral, simples e vivendo em ambientes simples, ao se colocar diversos agentes juntos em um mesmo ambiente, comportamentos coletivos aparecem naturalmente.

Como um simples exemplo, considere a seguinte simulação feita por *Parisi e Nolfi* [2]: Considere um ambiente fechado que contém diversos elementos de comida, os quais são distribuídos aleatoriamente e reaparecem com o tempo. Diversos agentes existem nesse ambiente e através da alimentação eles podem conseguir energia suficiente para sobreviverem ou para se auto-reproduzirem. Inicialmente eles não são bons em encontrar alimentos, mas a seleção natural escolhe para as próximas gerações apenas os indivíduos mais aptos a encontrar comida. Não é difícil de prever que se a comida é reintroduzida periodicamente e randomicamente, existirá movimentos migratórios onde agentes se agregam em regiões onde a comida é mais abundante, e, ao fim da oferta alimentar na região, os agentes se dispersarão.

Este exemplo por mais simples que seja, mostra que agregação e coordenação espacial surgem dos mais simples ambientes e agentes, mesmo quando eles não percebem uns aos outros. E esta agregação espacial é uma condição fundamental para a emergência da comunicação e de sistemas de troca entre indivíduos.

Outros exemplos de geração de comportamentos coordenados foram simulados e aparecem naturalmente em experiências de construção de estruturas, movimentação de agentes interconectados ou agrupamento como resposta à aproximação de predadores. Mudanças nas regras do jogo podem também gerar estes comportamentos. Por exemplo, dividindo a vida de um agente em duas: infância e maturidade. Considerando a criança como um agente mais limitado em adquirir alimento e o adulto com algum interesse genético de alimentar sua cria, é observável a formação da

estrutura de parentesco, pois somente sobreviverão as crianças mais aptas a seguirem seus pais e cujos pais possuam um nível quantitativo adequado de alimentação da criança. Assim, os “genes” que dizem o quanto o pai deve alimentar a cria tenderão a se estabilizar com as gerações.

Até agora se lidou com comportamentos sociais que não possuem função de gerar fenômenos sociais, mas os mesmos acabam ocorrendo. Contudo sabemos da existência de comportamentos que existem justamente com a função de gerar fenômenos sociais. Por exemplo, a comunicação é resultado deste tipo de comportamento. Contudo, como vemos no texto de *Parisi e Nolfi* [2], a comunicação necessita da evolução tanto do comportamento da emissão de sinais nas circunstâncias adequadas quanto da evolução do comportamento de resposta do sinal. Contudo, para qualquer comportamento aparecer, é necessário que ele seja vantajoso para o agente que o exibe. Mas o comportamento de emitir sinais apropriados nas circunstâncias apropriadas não gera vantagem para o emissor, mas sim para os receptores do sinal. Para que a comunicação apareça é necessário criar condições para lidar com este problema. Uma maneira de contornar a situação é colocar tanto o emissor quanto o receptor com algum grau de parentesco. Dessa maneira, bons emissores de sinais provem vantagens para os receptores, porém eles têm os mesmos genes que o emissor. Assim os genes de um bom emissor são mantidos na população. Outra teoria que possibilita o desenvolvimento da comunicação do ponto de vista evolutivo é a linguagem não sendo apenas usada para lidar com outros indivíduos, mas também para falar com si mesmo, ou seja, pensar.

Por fim, outra sugestão apresentada é tratar a comunicação de maneira em que ela seja culturalmente transmitida ao invés de ser limitada pela transmissão genética. Apesar disso, a transmissão cultural, assim como a genética, é acompanhada por mudanças, evoluções. Para isto acontecer, os agentes que aprendem - os alunos - precisam estar próximos dos indivíduos que ensinam - os professores -, e os melhores indivíduos da geração anterior tem que atuar como professores/transmissores. Ambas as condições previamente citadas podem ser consideradas tendências genéticas dos agentes alunos: tendência a estar em proximidade com os transmissores e habilidade em selecionar os melhores transmissores como professores. Como são os professores que ensinam aos alunos como sobreviver, podemos concluir que existe uma co-evolução: cultural e biológica.

A evolução cultural também pode ser acompanhada pelo uso de artefatos tecnológicos. Estes artefatos podem evoluir através da seleção natural dos melhores produtores de artefatos somados com ruído aleatório. A seleção natural é esperada, pois sendo os artefatos elementos vantajosos, os melhores produtores de artefatos devem ter melhores condições para poder procriar.

### **Projeto NewTies**

Passando para uma simulação de maior porte, o projeto *NewTies* de *Gilbert et al* [4], busca propiciar um ambiente desafiador para a sobrevivência dos agentes, onde é esperado que ações coletivas sejam parte da solução. Entre elas é esperado o desenvolvimento de uma linguagem baseada em agentes equipados com aprendizagem e habilidades comunicativas básicas. Além disso, baseados em trabalhos de *Steels* sobre a linguagem, são usados *jogos de*

*discriminação* relacionados com a categorização de objetos e *jogos de linguagem* relacionados com o aprendizado de palavras. Os quatro desafios ambientais inicialmente propostos são análogos ao que seres humanos enfrentaram e todos são construídos baseados na premissa que a única necessidade de cada agente é sobreviver. Eles são: 1- Escassez regional de comida, onde é esperado que o escambo ou o roubo possa aliviar o problema; 2- O ciclo de vida/reprodução das plantas deve ser respeitado para sempre existir comida. É esperado que os agentes aprendam isso e mesmo famintos deixem algumas plantas intocadas; 3- A distribuição dos tipos de plantas é tal que os agentes precisem adquirir comida de (trocar com) outros agentes. É esperado que os agentes se distribuam em núcleos separados por áreas vazias; 4- Agentes são sensíveis a atributos de outros agentes e a *tokens*. Assim é esperado que haja uma distinção e classificação dos objetos e agentes, e que isso leve a comportamentos relacionados com o indivíduo/item com que se esta lidando.

O ambiente de simulação se mantém simples: uma superfície onde se encontram plantas, pedras e *tokens*. Plantas são fontes de energia e tem seu valor nutricional é variável de acordo com seu tempo de vida. No fim de sua vida duas sementes são produzidas. Pedras são utilizadas para construir barreiras ou estradas, cujas quais diminuem o gasto energético de locomoção para um agente. Por fim *tokens* são de diversos tipos e não possuem utilidade intrínseca. A cada fatia de tempo, os agentes percebem o ambiente e podem executar uma ação. Entre as ações temos: mover, pegar/largar objeto, construir, falar, gritar, bater, comer e reproduzir. O genoma do agente é composto por valores variáveis de atributos como:

metabolismo, idade de transição criança-adulto e adulto-idoso, sociabilidade, nível que um agente tem em seguir seus pais, alcance da visão, velocidade, força física e alcance do grito. Os agentes são modelados para poderem evoluir de três maneiras: aprendizado por tentativa e erro; reprodução e seleção; e aprendizado social, mesmo sendo a criação e o desenvolvimento da comunicação um resultado a ser desenvolvido pelos agentes.

As simulações ocorreram ao longo de alguns anos, porém não se sabe o porquê, os sites oficiais do projeto não se encontram mais disponíveis, tornando, por enquanto, desconhecidos os resultados das simulações

## Auto-regulação em Sistemas Multi-Agentes

Se os agentes são autônomos e existem para seus próprios interesses, a ordem social não é necessariamente resistente a perturbações. Este problema nos remete ao chamado “micro-macro problem” que nada mais é que responder: “como fenômenos macro sociais emergem de ações individuais e em retorno limitam e influenciam ações futuras”.

De acordo com *Hahn et al* [2], uma maneira de propor controle social descentralizado e autônomo é a utilização do conceito de reputação pelos agentes. Dessa maneira foi criado um modelo computacional fértil para utilização destes fatores, compreendido por consumidores, provedores e jornalistas. Cada um possui uma função econômica estabelecida, tal que os consumidores escolhem seus provedores se baseando no preço pelo serviço do provedor e na sua reputação. Jornalistas entrevistam a população para estabelecer as reputações dos provedores, e vendem esta informação aos

consumidores. As perturbações ou dificuldades encontradas pelo sistema são as possibilidades de mentiras entre as conversas e de fraudes pelos provedores ao aceitarem prestar um serviço. A reputação foi desenvolvida em três níveis: imagem, que denota a reputação em um nível micro; estima social, com um escopo social maior; e prestígio, onde o reconhecimento é público. As mesmas simulações foram feitas desconsiderando o conceito de reputação.

Os resultados destas simulações mostram que o uso do conceito de “imagem” pelos agentes diminui e chega a zerar a taxa de fraudes nas operações, e considerando o conceito de prestígio de maneira ainda mais rápida. O conceito de imagem não afeta a taxa de mentiras, contudo o conceito de prestígio pode eliminá-las. Interessante notar também que o prestígio adota a formação de organizações.

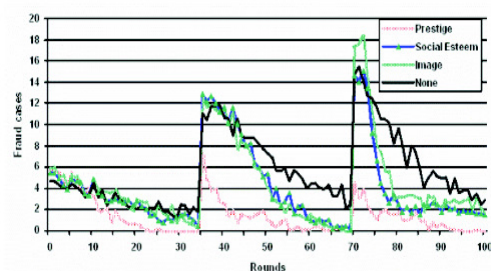


Figure 11. Scaling of agent population (Configuration 5)

Figura 1 – variação da taxa de fraudes no tempo, considerando diferentes conceitos de reputação. Nos rounds 35 e 70 são inseridos novos provedores.

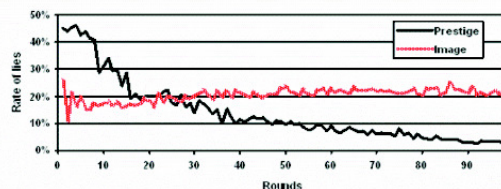


Figura 2- variação da taxa de mentiras em função do prestígio e da imagem

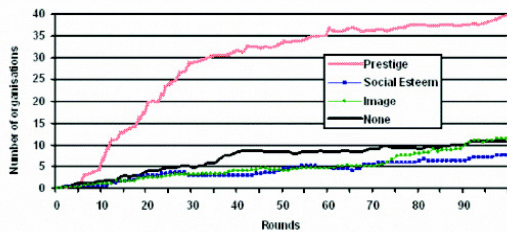


Figura 3 - Formação de organizações a partir do uso de diferentes conceitos de reputação

### Multi-agentes X Agente singular

Outra questão interessante é se sociedades multi-agentes podem ser estudadas como se fossem um processo estendido de um único super-agente. A fundamentação para a simulação se baseia na abstração das idéias de baixo nível para então partir para uma perspectiva de mais alto nível, onde o entendimento do todo seria melhor e uma quantidade maior de insight seria ganho. Dessa maneira processos complexos poderiam ser tratados mais facilmente.

Considerando esta idéia, *Bosse e Treur* [3] simularam uma sociedade de formigas. O ambiente é composto por regiões e travessias. As formigas podem observar e deixar feromônios nas travessias, o que funciona como uma maneira de comunicação. O objetivo destes insetos é de encontrar comida e deixar uma rota adequada de feromônios em seu caminho. Assim outras formigas conseguiriam encontrar mais facilmente seu destino. Como visão alternativa aos vários agentes, foi proposto o sistema composto por um único super-agente, tal que cada formiga do SMA corresponde a uma parte do corpo do super agente. Para poder comparar as conceitualizações dos dois modelos, eles usaram como explicação dos processos cognitivos dos insetos a maneira mais simples possível: resposta direta a estímulos. Isto elimina os estados internos desses agentes. Assim os *inputs* do super-agente equivalem à

colecção dos *inputs* de várias formigas e o *output* do super-agente equivale à movimentação das formigas. Assim é proposto um mapeamento formal entre as duas conceitualizações. Este mapeamento não é bidirecional, pois, por exemplo, o uso de feromônios passa a ser um processo interno do super agente.

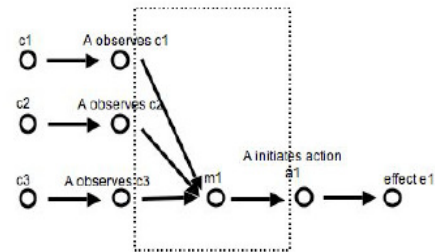


Figura 4 - Modelo de um Super Agente

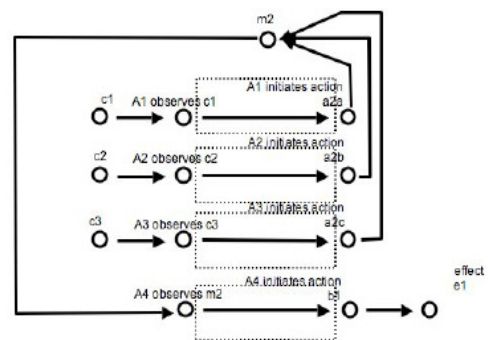


Figura 5 - Modelo equivalente envolvendo multi-agentes simples

### Discussão e Conclusões

Dentre os diversos artigos estudados, percebemos que os ambientes são simples, assim como os agentes. Contudo a co-evolução genético-cultural dos agentes é o que possibilita o sistema, como um todo, ser complexo e, assim, útil para testar teorias sociais, culturais e cognitivas. Além disso, deve-se evoluir passo a passo para se chegar a agentes com complexidade mais próxima à humana, já que é necessário muito trabalho, teorias e correlação de disciplinas para as mais simples simulações.

É comum em todos os casos analisados

a questão “micro-macro”, ou seja, responder as perguntas: Como são resolvidos conflitos entre crenças individuais e socioculturais? Como um indivíduo pode alterar crenças socioculturais? É perceptível também que todos os trabalhos sugerem idéias que podem ser utilizados em trabalhos futuros. Para existir simulação, é necessário ser específico quanto ao ambiente e ao que se quer simular, o que sempre manterá uma porta aberta para a inclusão de novas variáveis ao sistema e futuras re-simulações. Não obstante todos os trabalhos estudados são dos últimos oito anos, o que reforça a idéia de que esta questão está continuamente em expansão.

Outro ponto muito importante é a abstração desses trabalhos para sistemas usados na humanidade e validação de teorias. Por exemplo, a simulação de *Bosse e Treur* [3] pode ser estendida para outros tipos de sociedade, como por exemplo, uma base de dados comum de uma empresa que é usada para manter e acessar informações de seus clientes. Outro exemplo seria um departamento de uma empresa desejar ter uma “face comum” para o ambiente externo, e, portanto implementar diretrizes comuns, baseadas nas ações passadas mais recentes.

## Referências

- [1] SUN, R. Cognitive Science meets multi-agent systems: a prolegomenon. *PHILOSOPHICAL PSYCHOLOGY*, Vol.14, No.1, pp.5-28. 2001.
- [2] Parisi, D.; Nolfi, S. Sociality in embodied neural agents. To be published in Ron Sun (ed.), *Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation*
- [3] Bosse, T.; Treur, J. Formal Interpretation of a Multi-Agent Society As a Single Agent.

*JOURNAL OF ARTIFICIAL SOCIETIES AND SOCIAL SIMULATION* vol. 9, no. 2. 2006

[4] Gilbert, N. Vogt, P. *et al.* Emerging Artificial Societies Through Learning. *JOURNAL OF ARTIFICIAL SOCIETIES AND SOCIAL SIMULATION* vol. 9, no. 2. 2006

[5] Hahn, C., Fley, B., Florian, M. *et al.* Social Reputation: a Mechanism for Flexible Self-Regulation of Multiagent Systems. *JOURNAL OF ARTIFICIAL SOCIETIES AND SOCIAL SIMULATION* vol. 10, no. 1. 2007