

## **SEMIÓTICA SINTÉTICA: SOBRE A SÍNTESE DE CRIATURAS SIMBÓLICAS ARTIFICIAIS**

**João QUEIROZ, Ricardo GUDWIN, Angelo LOULA**

*Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial  
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação  
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP  
Caixa Postal 6101 - 13083-852 - Campinas (SP) – Brazil  
E-mail: angelocl@dca.fee.unicamp.br*

---

### **Resumo**

*Metodologias sintéticas têm sido utilizadas para simular processos cognitivos de diversas perspectivas. Robótica Cognitiva, Vida Artificial, ANIMATS e Etologia Sintética são algumas das áreas interdisciplinares de pesquisas envolvidas no design de sistemas e criaturas artificiais. Estas áreas têm projetado ambientes que funcionam como laboratórios experimentais, onde é possível testar as previsões derivadas de diversos modelos e teorias. Baseados na semiótica de C.S.Peirce, e inspirados em restrições etológicas, apresentamos um modelo capaz de simular a emergência de comunicação simbólica, em criaturas artificiais, em um mundo virtual de eventos de predação. Estamos particularmente interessados em entender como processos semióticos de “alto nível” (simbólicos) emergem de níveis inferiores.*

*Palavras-chave: semiose artificial, comunicação simbólica, simulação, Semiótica Sintética, Vida Artificial, C.S.Peirce.*

### **Abstract**

*Synthetic methodologies have been used to simulate cognitive processes from many different perspectives. Cognitive Robotics, Artificial Life, ANIMATS, and Synthetic Ethology are some of the interdisciplinary areas of research involved in the synthetic design of cognitive systems and creatures. These areas have been designing environments that work as experimental labs, where it is possible to test the predictions derived from theoretical models. Based on the Peircean semiotics and inspired by ethological constraints, we will present a synthetic methodology to simulate the emergence of symbolic predator-warning communication among artificial creatures in a virtual world of predatory events. We are particularly interested in understanding how higher level of semiotic processes (symbolic) emerge from lower level ones.*

*Keywords: artificial semiosis, symbol-based communication, simulation, Synthetic Semiosis, Artificial Life, C.S.Peirce.*

## 1. Introdução

*Construir para explicar* é um slogan que, depois da invenção dos computadores digitais, ganhou um sentido inédito na história das ciências, e é hoje a coluna vertebral de disciplinas, diversos departamentos e áreas inteiras de investigação (e.g., Inteligência Artificial, Neuroetologia Computacional, Biologia Sintética). Modelos computacionais, simulações, e réplicas de sistemas e criaturas de “todos” os tipos são implementados em muitas plataformas, e ontologias, por meio de estratégias *sintéticas* (em oposição a analíticas), um termo usado para designar uma metodologia científica reversa, que constrói sistemas capazes de realizar tarefas cognitivas, para testar e avaliar hipóteses e teorias.<sup>1</sup> Em contra-partida significam, para a teoria, uma oportunidade de quantificar e formalizar, em termos de linguagem de programação, suas idéias e proposições (Parisi 2001, Casti 1998). Além disso, fornecem os meios para realizar “experimentos mentais” sobre as condições necessárias e suficientes para observação dos processos investigados (Grim 2002, Bedau 1998, Dennett 1998) – como teriam sido tais e tais fenômenos, se as condições iniciais para a emergência e desenvolvimento tivessem sido outras, e não estas?

Vida Artificial (Bedau 2003, Langton 1995), Robótica Cognitiva (Nolfi e Floreano 2002), ANIMATS (Dean 1998), Neuroetologia Computacional (Cliff 1998) e Etologia Sintética (MacLennan 2002) são as principais áreas envolvidas na síntese de sistemas e criaturas artificiais. Elas, muitas vezes, estão baseadas em diferentes ferramentas computacionais, e divergem em suas pretensões. Mas são fortemente influenciadas por metaprincípios (*requisitos teórico-formais* e *requisitos empíricos*), para o design dos ambientes e definição morfológica de sensores, efetores, arquitetura e processos cognitivos das criaturas concebidas (ver tabela 1). Isto significa, na prática, que estes dois conjuntos de restrições informam: o que se pretende simular? o que precisa ser considerado? como saber (critérios de avaliação) se o resultado é uma boa simulação?

**Tabela 1** — Metaprincípios

Requisitos	Propósito	Descrição/exemplos
Requisitos teórico-formais	Concepção Definição Condições	O que é comunicação, significado, semiose? Quais as condições necessárias para a emergência de fenômenos de comunicação e linguagem? Como definir processos semióticos de alto nível (simbólicos)?
Requisitos empíricos	Morfologia Arquitetura Mecanismos	Que arquitetura é requerida para emergência de tais processos? Que mecanismos atuam em seus desenvolvimentos? Como simular estes mecanismos?

<sup>1</sup> Para uma discussão sobre as diferenças entre simulação, replicação, e modelo, ver Mehler (2003)

Introduziremos alguns metaprincípios para a concepção e síntese de criaturas semióticas artificiais, isto é, para a síntese de criaturas capazes de interagir por meio de algum tipo de comportamento semiótico. Sumariamente, apresentaremos a redescritção de um caso de comunicação animal. Ele funciona aqui como o *corpus* de requisitos biológicos para o design de criaturas e ecossistema digitais. Em seguida, apresentamos uma descrição do *The Symbolic Creatures Simulation*, concebido para simular a emergência de competências semióticas em um ambiente de predação.<sup>2</sup> Concluiremos, em contraste com o *mainstream*, que símbolos resultam de mecanismos simples de aprendizagem associativa. Esta conclusão, como veremos, é compatível com o largo espectro conceitual atribuído por Peirce a esta modalidade de semiose.

## 2. Simulação de linguagem e semiose

Quando o objeto da simulação é *linguagem*, que tratamos aqui, pela generalidade, por *competência semiótica*, as abordagens computacionais têm trabalhado em diversos níveis de descrição e organização, entre os quais: gramaticalidade (Christiansen e Ellefson 2002; Batali 1994, 1998; Kirby 1999; Steels, 2004; Vogt, prelo), lexicalização (Hurford 1991; Cangelosi e Parisi 1998; Cangelosi, 2001; Hutchins e Hazlehurst 1995; Steels e Kaplan 1999; Steels 1999, 2003; Smith, 2004), fonologia (Oudeyer, 2005; de Boer, 2001) e comunicação entre agentes (Oliphant 1996; MacLennan e Burghardt 1993; Werner e Dyer 1992; Noble *et al*, 2002). Uma parte desses trabalhos simula emergência de competências semióticas na ausência de prévia adaptação, isto é, as criaturas são capazes de adquirir alguma forma de linguagem em um ambiente em que estas formas nunca foram disponibilizadas. Outra, simula condições de aprendizagem em ambientes de cooperação baseados em interação por meio de alguma forma de semiose.

No experimento aqui apresentado, criaturas sintéticas podem desenvolver “competência simbólica” com base em interações comunicativas, em uma comunidade onde parte das criaturas já possui tal capacidade.

## 3. As bases para um tratamento computacional

Qual “*a natureza essencial e variedade fundamental de todas as possíveis semioses*” (CP 5.488)?<sup>3</sup> Para responder essa pergunta, Peirce construiu um poderoso sistema baseado em uma teoria lógica-fenomenológica de categorias. Trata-se de um sistema exaustivo de relações, hierarquicamente organizado em classes de relações (3-ádicas, 2-ádicas e 1-ádicas) (CP 6.331; Brunning 1997, Houser 1997). Esse sistema é a fundação formal de seu modelo de semiose e de

---

<sup>2</sup> Para uma descrição e análise mais cuidadosa do caso de comunicação animal, ver Queiroz e Ribeiro (2002); Queiroz (2003); para uma descrição detalhada do simulador e resultados, ver Loula et al (2004b), Loula, Gudwin e Queiroz (2004a).

<sup>3</sup> O trabalho de Charles S. Peirce é citado como CP seguido do volume e parágrafo (Peirce, 1931-1958)

suas classificações sígnicas. *Semiose* e *comunicação* são tratadas como um processo auto-corretivo cuja dinâmica exibe uma irreduzível relação (triádica) entre Signo, Objeto, e Interpretante, que é o efeito produzido em um Intérprete (ver Ransdell 1977). Há três possíveis modalidades de representações fundamentando este processo – ícones, índices e símbolos (CP 5.473). Estas modalidades correspondem, aproximadamente, a relações de *similaridade* (1-ádicas), de *contigüidade física* (2-ádicas), e de *lei* (3-ádicas) que um signo (S) pode manter com seu objeto (O). As propriedades associadas a essas modalidades são, respectivamente: (i) relação S-O dependente das propriedades intrínsecas de S, (ii) S-O em reação espaço-temporal (contigüidade física S-O), (iii) S-O dependente da mediação de uma regra de ação, ou uma lei.<sup>4</sup>

O corolário destas modalidades é que, para um intérprete, não há mais do que três formas possíveis de relações que podem ser estabelecidas entre um signo (e.g., uma palavra, um diagrama, uma partitura musical) e um objeto que o signo representa -- ou um signo é análogo, por similaridade, ao objeto que substitui, ou deve estar espaço-temporalmente conectado a este objeto, ou deve representá-lo por meio de uma regra, uma lei, ou um hábito. Usamos, para investigar estas asserções, duas estratégias complementares. Propusemos uma redescrição de padrões comportamentais em um caso de comunicação animal, com base na teoria de Peirce, e inferimos as modalidades de semiose previstas pela teoria. Em seguida, baseados nesta redescrição, concebemos criaturas artificiais capazes de representações multimodais de objetos e estados de seus ambientes, em eventos de comunicação. Em ambas as abordagens, a questão que mais nos interessa é: como competências semióticas de 'alto nível' (e.g. simbólicas) *emergem* de competências de 'baixo nível' (e.g. icônicas ou indexicais)? Se há uma transição de uma fase icônica ou indexical para uma fase simbólica, quais são os mecanismos envolvidos nesta transição?

#### 4. Semiose simbólica – o principal problema

Existe uma histórica controvérsia, que dificilmente pode ser sumarizada em poucas linhas, sobre um limiar (evolutivo, cognitivo, etc) entre “formas simples de linguagem” ⇒ “linguagens complexas”. Resumida em uma pergunta, e de acordo com um dos principais ramos dessa controvérsia: existem, ou existiram, outras espécies de criaturas simbólicas? Esta questão envolve um grande número de pesquisadores, em diversas áreas (e.g., Vauclair 1994, Noble e Davidson 1996, Deacon 1998, Tomasello 1999, Tattersall 2001). As pesquisas, uma vez que “comportamento associado à linguagem não fossiliza” (Hauser, Chomsky e Fitch 2002), devem seus mais importantes desenvolvimentos a dois grupos de abordagens: comparativo-evolucionário e computacional. A resposta mais aceita para a pergunta é NÃO. O livro *Symbolic Species*, de Terrence Deacon (1998), seguido do *The Cultural Origins of Human Cognition*, de Michael Tomasello (1999), ajudaram a destacar esta posição.

---

<sup>4</sup> Para uma introdução à semiótica de Peirce, ver: Savan (1987-88), Parker (1998), Lizska (1996), Santaella (1995), Merrell (1995).

A discussão depende obviamente da definição do que é símbolo, e do que ele não é. Para o *mainstream*, a noção de símbolo se confunde com as noções de arbitrariedade e de composicionalidade semânticas, freqüentemente em um sistema declarativo de 'signos', propriedades às quais Peirce jamais restringiu este conceito. Isto permitiu a ele tratar o símbolo dissociadamente das idéias de convencionalidade, que constitui um caso especial de semiose simbólica, de manipulação intencional dependente de um usuário, e levou-o a conceber símbolos *naturais* de diferentes tipos. Para Peirce, um símbolo é um signo que está relacionado com seu objeto em virtude de uma lei -- "um signo que é constituído meramente, ou principalmente, pelo fato de que é usado ou entendido como tal, seja natural ou convencional o hábito, e sem observar os motivos que originalmente governaram sua seleção" (CP 2.307).

Há um importante componente em sua definição: a natureza do processo é definida como fundamentalmente intérprete-dependente. Em nossa abordagem, a ação do signo (semiose) pode ser caracterizada em termos de padrões de comportamento que emergem da cooperação entre agentes, e uma de suas modalidades (simbólica), por um padrão de comportamento específico de um agente (intérprete) situado em um ato comunicativo. Como investigar o aparecimento destes processos em outras criaturas? Como saber quando um signo é usado ou 'entendido' como um símbolo?

Aderimos à controvérsia (Queiroz e Ribeiro 2002; Queiroz 2003, 2004) quando sugerimos que os resultados descritos pelos etólogos Cheney & Seyfarth, em seus experimentos de campo com macacos-verde (*Cercopithecus aethiops*), satisfaziam, consistentemente, os critérios estabelecidos por Peirce de semiose simbólica. Em uma importante passagem, Peirce afirma: "um símbolo não pode indicar qualquer coisa particular; ele denota um tipo de coisa" (CP2.301). Que efeito pode ser associado à generalização do objeto de um signo?

## 5. Um evento de comunicação simbólica em primatas não-humanos

Usamos as respostas comportamentais de macacos-verde africanos (*Cercopithecus aethiops*) como indicadores da formação de tipos específicos de signos, uma estratégia corrente em etologia. Estes primatas, encontrados principalmente no Quênia, possuem um sofisticado repertório de vocalizações usado em interações sociais intra-específicas (confrontação e formação de alianças de diversos tipos) (Cheney e Seyfarth 1990), bem como para indicar a presença de predação iminente (Seyfarth *et al*, 1980; Seyfarth e Cheney 1992). Estudos de campo revelam três tipos de alarmes usados para indicar a presença de (1) predadores mamíferos terrestres, (2) aves de rapina, e (3) cobras. O comportamento do grupo, subseqüentemente à produção do alarme, é um indicador de interpretação discriminada do alarme. Quando alarmes de leopardo são produzidos, macacos-verde fogem para o topo das árvores mais próximas; alarmes de águia produzem fuga para debaixo de arbustos; para alarmes de cobra, a reação é um escrutínio atento da relva (figura 1).

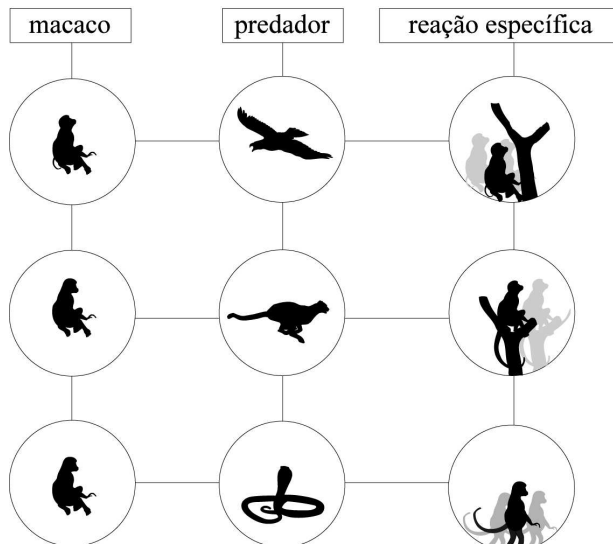


Figura 1 — Interpretação discriminada do alarme

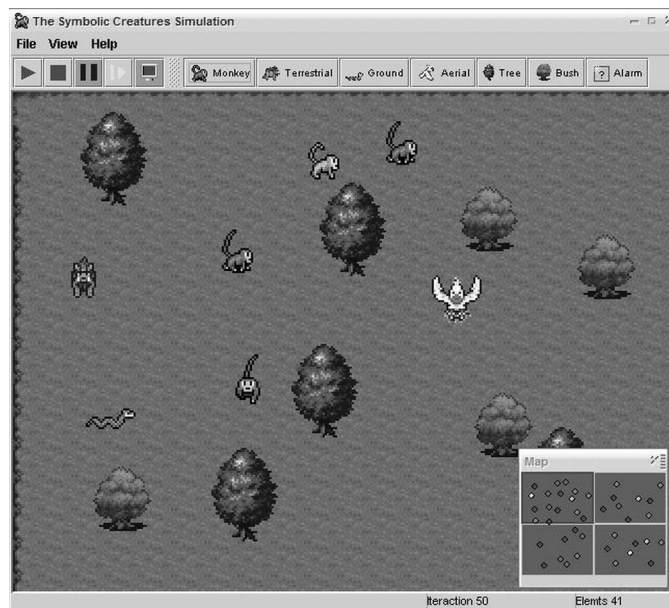
Sugerimos que a passagem de um comportamento que produz “rastreamento sensório”, em seqüência a audição de um alarme, para um comportamento que produz fuga imediata, em seqüência a audição do mesmo alarme, equivale à passagem de uma semiose indexical, reativa espaço-temporalmente, e portanto S-O dependente, para uma semiose simbólica (Queiroz e Ribeiro 2002, Queiroz 2003). O objeto do signo, neste caso, é um tipo de objeto, e não precisa existir como um evento. Em outras palavras, a transição “índice  $\Rightarrow$  símbolo” está na passagem do objeto (do signo), que é um evento, e coincide espaço-temporalmente com a vocalização (signo), para um objeto que é uma classe de eventos, e não precisa estar presente como uma ocorrência. O “efeito colateral” é uma criatura que não *rastreia* o ambiente para fugir. A maturação ontogenética tardia deste processo sugere que ele depende de uma fase indexical de aprendizagem.

Este conjunto de informações nos serviu como *metaprincípio* (teórico-formal e experimental) para concepção e desenvolvimento dos experimentos de simulação, em um mundo virtual de eventos de predação. Ele nos forneceu um esquema de restrições para a construção da arquitetura cognitiva das criaturas, neste mundo, e para análise e interpretação de seus comportamentos. Estudos sobre o sistema de alarmes revelam que macacos-verde jovens, e infantes, não tem competência para emitir e interpretar alarmes, eficientemente (Cheney e Seyfarth 1990), um indicador de que seu uso envolve aprendizagem. Em nossa proposta, a aprendizagem associativa é o mecanismo que permite estabelecer eficientemente as relações entre vocalizações produzidas por outras criaturas e a presença de uma ameaça, incluindo uma possível resposta (motora) de fuga.

Deve-se deixar claro que o simulador permite investigar alguns pré-requisitos que devem ser satisfeitos para emergência de semiose simbólica, não pretendendo funcionar como um modelo detalhado deste processo em criaturas biológicas.

## 6. *The Symbolic Creatures Simulation*: um experimento em semiótica sintética

O experimento baseia-se na construção de um ecossistema virtual (figura 2) que funciona como um laboratório para testar hipóteses sobre alguns pré-requisitos que devem ser satisfeitos para a observação de semiose simbólica. Para construí-lo, e para inferir as condições mínimas para o design das criaturas, examinamos um caso de comunicação animal (introduzida na seção 4) e propomos a síntese de criaturas para investigar: (i) aprendizagem de modalidades sígnicas em eventos de comunicação, (ii) relação entre as modalidades, (iii) relação entre modalidades sígnicas e diversas atividades (percepção, atenção, memória, etc).



**Figura 2** — *The Symbolic Creatures Simulation*, usado para simular interação entre criaturas (ver mais detalhes sobre o experimento em <http://www.dca.fee.unicamp.br/projects/artcog/symbcreatures/>).

O mundo virtual é constituído de criaturas – presas e predadores – e objetos – árvores e arbustos, usados para fugas. As presas se dividem em aprendizes e instrutores, e os predadores em terrestres, aéreos e rastejantes. As criaturas são agentes autônomos, virtualmente incorporados em um ambiente virtual bidimensional, e estão equipadas com sensores e habilidades motoras, o que permite interações com o mundo virtual, através de parâmetros de ação fixos e

competências que podem ser modificadas. Ao conectar sensores e atuadores, obtemos uma estrutura de controle com mecanismos dedicados a 'seleção de ação' (Franklin 1997), o que permite a escolha entre ações conflitantes, em cada instante. Tal arquitetura é inspirada no controle baseado em comportamentos, em que se estabelecem módulos paralelos para atividades distintas (Brooks 1991a,b). Ela utiliza *drives*, motivações e comportamentos, que são módulos independentes, alternadamente ativados para situações específicas.

Destacamos, dentre os diversos comportamentos, aqueles que estão relacionados à produção e aquisição de símbolos pelas presas: vocalização, rastreamento sensorio e aprendizagem associativa. Quando uma presa do tipo instrutor observa um predador no ambiente, ela emite um alarme específico. Este alarme é pré-definido, no caso do instrutor, que possui um alarme associado a cada predador. Quando outra presa, do tipo aprendiz, ouve um alarme, o comportamento de rastreamento dirige sua atenção para o emissor e arredores, procurando eventos coincidentes, uma reação indexical de busca por uma conexão espaço-temporal entre signo e objeto.

A aprendizagem associativa permite estabelecer relações signo-predação, com resposta (motora) de fuga. Aprendidas, essas relações formam *regras de ação*. A aprendizagem generaliza relações espaço-temporais entre eventos percebidos, a partir de suas ocorrências particulares, transformando *tokens* em *types*. A presa possui estruturas de memória para armazenamento e manipulação desses eventos: memórias de trabalho e memória associativa. Nas memórias de trabalho, auditiva e visual, estímulos sensoriais (icônicos) são armazenados temporariamente e disponibilizados para a memória associativa. (figura 3) Quando duas informações (visual e auditiva) estão simultaneamente presentes nas memórias de trabalho, é criada, ou reforçada, uma ligação entre elas na memória associativa, seguindo o princípio Hebbiano.<sup>5</sup> Em seguida, são inibidas (impossibilitadas) outras alterações, nesta associação, evitando a ocorrência de múltiplos ajustes, causada pela persistência de itens na memória de trabalho, nos instantes seguintes. Quando um item é retirado da memória de trabalho, suas associações não inibidas, isto é, as que não foram reforçadas, são enfraquecidas, e as associações inibidas têm suas inibições parcialmente removidas. (figura 4) Quando dois itens de uma associação são removidos, sua inibição é removida, tornando-se novamente ajustável. Estes ciclos de ajuste positivo (reforço) e negativo (enfraquecimento) permitem que o aprendiz adquira as associações corretas (signo-predador), as mesmas que o instrutor usa quando vocaliza.

Quando exposta à audição de um alarme, a presa exhibe inicialmente um comportamento de varredura sensorial por um emissor, uma resposta tipicamente indexical. Neste caso o objeto do alarme (signo) é um evento espaço-temporalmente coincidente. Com base nestas relações se desenvolve o aprendizado de generalizações entre estímulos. Após um certo período, a 'força' de associação signo-predador aumenta a ponto de criar uma nova *regra de ação* -- "fuga sem varredura". Neste caso, quando um alarme é percebido, o aprendiz faz uso das

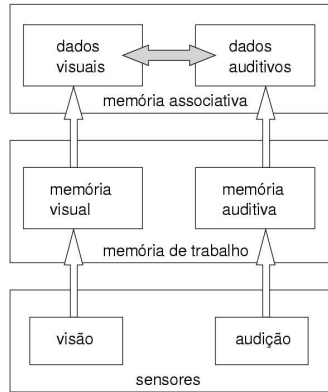
---

<sup>5</sup> O aprendizado Hebbiano indica que uma conexão entre dois neurônios é reforçada se eles são ativados simultaneamente (Hebb 1949).

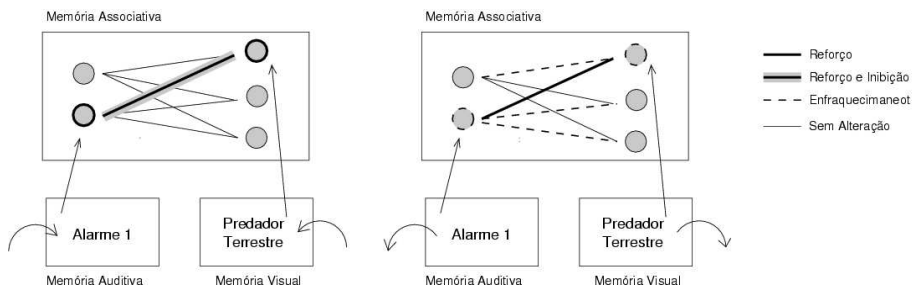


associações estabelecidas em sua memória, para interpretá-lo, sendo capaz de prescindir de evidências externas. O objeto do signo deixa de ser um evento, para tornar-se uma classe de objetos. (figuras 5, 6)

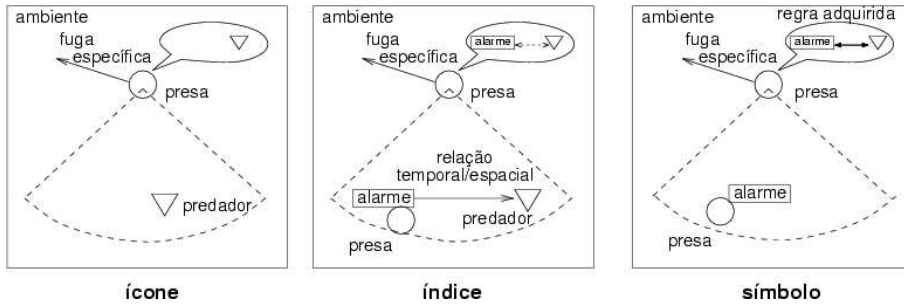
Este tipo de resposta ao alarme deve prover vantagem adaptativa à presa. Ao fazer uso de símbolos, a presa torna-se capaz de fugir antes de obter evidências externas sobre a presença do predador, como é o caso de uma resposta indexical, ao conduzir volitivamente a atenção para o emissor e seus arredores.



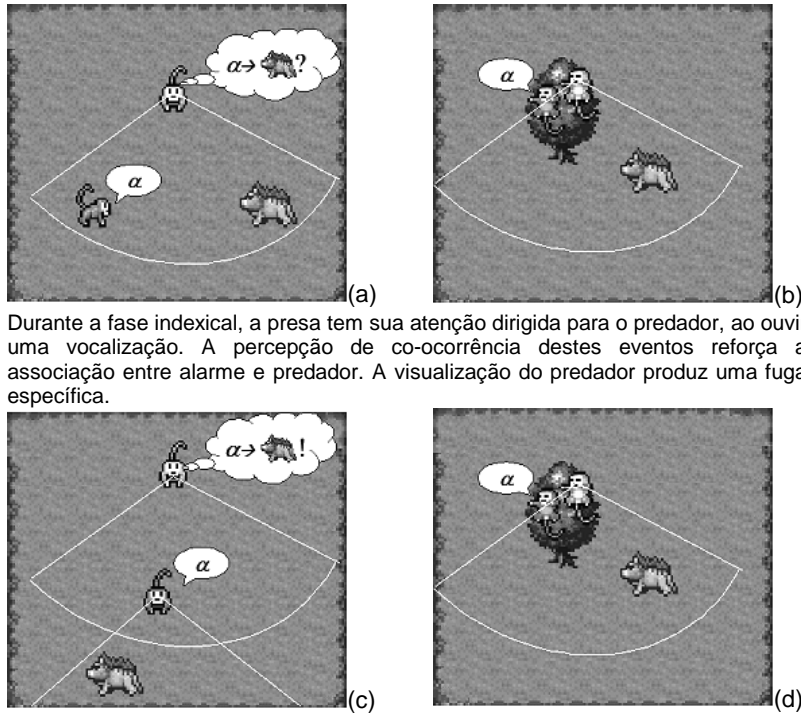
**Figura 3** — Aprendizagem associativa, dos sensores para a memória associativa. Sensores recebem os estímulos sensoriais que são mantidos na memória de trabalho, e são usados pela memória associativa para criar diferentes relações entre os estímulos.



**Figura 4** — Reforço e Enfraquecimento. (a) A co-ocorrência de estímulos visual e auditivo nas memórias de trabalho reforça a associação entre eles na memória associativa, e inibe mudanças nesta associação. (b) Quando estes estímulos saem da memória de trabalho, todas associações não inibidas que envolvem qualquer destes estímulos são enfraquecidas.



**Figura 5** — Ícones, índices e símbolos. Ícones são signos de similaridade, índices são signos de conexão espaço-temporal, e símbolos são uma generalização das relações signo-objeto.



Durante a fase indexical, a presa tem sua atenção dirigida para o predador, ao ouvir uma vocalização. A percepção de co-ocorrência destes eventos reforça a associação entre alarme e predador. A visualização do predador produz uma fuga específica.

Quando a presa ouve uma vocalização e não vê o predador poderá relacionar o alarme com o predador se a associação já tiver atingido valores altos. Esta resposta (simbólica) ao alarme produz uma fuga específica, sem visualização do predador.

**Figura 6** — Efeitos dos alarmes, em diferentes momentos, nas presas.

## 7. Conclusão

As abordagens sintéticas são férteis ambientes interdisciplinares para teste de hipóteses sobre pré-requisitos para emergência de diversos fenômenos cognitivos. Restrições teóricas, combinadas a análises de fenômenos empíricos, têm fornecido diversos subsídios, e uma bateria de “objetos para simular”. Apresentamos aqui diversas idéias usadas para simular eventos de comunicação entre criaturas artificiais virtuais. Para construir um cenário digital, e inferir os pré-requisitos necessários para projetar as criaturas, redescrivemos um caso de comunicação animal, baseado na teoria de Peirce. Esta aplicação é, com poucas exceções, uma ‘novidade teórica’, em termos de abordagens sintéticas (ver Cangelosi 2001, Vogt 2003), e de neuroetologia (ver Deacon 1998), já que a maioria dos trabalhos se divide entre abordagens naive, ou de extração linguística (e.g. Vauclair 1994, 1995). As implicações imediatas de uma visão ‘linguicêntrica’ é que ela tem dificuldades para incorporar, às suas explicações, processos multimodais de comunicação e linguagem. Além disso, os modelos linguísticos diádicos (signo motivado vs arbitrário) ignoram uma importante fase de produção indexical.

Diferentemente, as descrições de Peirce baseiam-se em uma teoria lógica-fenomenológica de categorias, com as vantagens de generalidade decorrentes de um modelo que não está primariamente interessado em fenômenos lingüísticos. E sabemos que os processos descritos são filogeneticamente anteriores ao aparecimento de *linguagem*, que deve ser absorvido como um fenômeno especial de semiose simbólica. Além disso, o modelo intérprete-dependente de semiose integra tendências recentes em Ciências Cognitivas – *Situated and Embodied Cognitive Science* (e.g, Beer 2000; Lakoff e Johnson 1999; Clark 1997, 1999; Smith 1999) – cujas abordagens têm foco na ação situada de agentes cognitivos.

Em nossa proposta, e em contraste com o *mainstream*, símbolos resultam de mecanismos simples de aprendizagem associativa. Uma análise dos processos cognitivos observados em macacos-verde sugere que a aquisição de símbolos começa com o aprendizado de relações indexicais, que reproduzem regularidades espaço temporais externas, detectadas durante a aprendizagem. As simulações indicam que a atuação do aprendizado pode, eventualmente, resultar em relações de lei, que podem ser generalizadas em outros contextos, em particular no caso onde um signo denota uma classe de objetos, satisfazendo as condições estabelecidas para descrição de semiose simbólica.

## Agradecimentos

Agradecemos a David Izuka e a Phillip Rodolfi pela assistência técnica. J.Q. é financiado por uma bolsa FAPESP (#02/09763-2).

## Referências Bibliográficas

- [Batali, 1998] Batali J. (1998). Computational simulations of the emergence of grammar. In Hurford J., Studdert-Kennedy M., Knight C. (eds.), *Approaches to the Evolution of Language - Social and Cognitive Bases*. Cambridge University Press: Cambridge. 405-426.
- [Batali, 1994] Batali J. (1994). Innate biases and critical periods: Combining evolution and learning in the acquisition of syntax. In Brooks R., Maes P. (eds.), *Artificial life IV*. MIT Press : Cambridge, Mass.. 160-171
- [Bedau, 2003] Bedau M. (2003). Artificial life: organization, adaptation and complexity from the bottom up. *TRENDS in Cognitive Sciences* 7 (11), 505-512.
- [Bedau, 1998] Bedau M. (1998). Philosophical content and method of artificial life. In Bynum T., Moor J.H. (eds.), *The Digital Phoenix: How Computers are Changing Philosophy*. Blackwell Publishers : Oxford, UK. 135-152.
- [Beer, 2000] Beer R. (2000). Dynamical approaches to cognitive science. *TRENDS in Cognitive Sciences* 4 (3), 91-99.
- [Brooks, 1991a] Brooks R. (1991a). Intelligence without reason. *Proceedings of the 12th International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-91*, Sydney, Australia. Morgan Kaufmann: San Mateo, CA. 569-595.
- [Brooks, 1991b] Brooks R. (1991b). Intelligence without representation. *Artificial Intelligence* 47 (1-3), 139-159.
- [Bruning, 1997] Bruning J. (1997). Genuine triads and teridentity. In Houser N., Roberts D., Evra J. (eds.), *Studies in the Logic of Charles Sanders Peirce*. Indiana University Press: Indiana. 252-270.
- [Cangelosi, 2001] Cangelosi A. (2001). Evolution of communication and language using signals, symbols, and words. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 5 (2), 93-101.
- [Cangelosi e Parisi, 1998] Cangelosi A., Parisi D. (1998). The emergence of a language in an evolving population of neural networks. *Connection Science* 10 (2), 83-97.
- [Casti, 1998] Casti J. (1998). *Mundos Virtuais – como a simulação está mudando as fronteiras da ciência*. Editora Revan: Rio de Janeiro.
- [Cheney e Seyfarth, 1990] Cheney D., Seyfarth R. (1990). *How Monkeys See the World*. University of Chicago Press : Chicago, IL.
- [Christiansen e Ellefson, 2002] Christiansen M., Ellefson M. (2002). Linguistic Adaptation Without Linguistic Constraints: The Role of Sequential Learning in Language Evolution. In Wray A. (ed.), *The Transition to Language*. Oxford University Press : Oxford. 335-358.
- [Clark, 1997] Clark A. (1997). *Being There. Putting Brain, Body, and World Together Again*. MIT Press: Cambridge, Mass.
- [Clark, 1999] Clark A. (1999). An embodied cognitive science? *TRENDS in Cognitive Sciences* 3, 345-351
- [Cliff, 1998] Cliff D. (1998). Computational Neuroethology. In Arbib, M. (ed.), *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*. MIT Press: Cambridge, Mass.. 626-630.
- [de Boer, 2001] de Boer B. (2001) *The Origins of Vowel Systems*. Oxford University Press : Oxford.
- [Deacon 1998] Deacon T. (1998). *The Symbolic Species: The Co-evolution of Language and the Brain*. W.W. Norton & Company : New York.

- [Dean, 1998] Dean, J. (1998). Animats and what they can tell us. *TRENDS in Cognitive Science*, 2 (2), 60-67.
- [Dennet, 1998] Dennet D. (1998). *Brainchildren – essays on the designing minds*. MIT Press : Cambridge, Mass..
- [Franklin, 1997] Franklin, S. (1997). Autonomous agents as embodied AI. *Cybernetics and Systems* 28 (6), 499-520.
- [Grim, 2002] Grim, P. (2002). Philosophy for computers – some explorations in philosophical modeling. *Metaphilosophy* 33 (1/2), 181-208.
- [Hauser et al, 2002] Hauser M., Chomsky N., Fitch W. (2002). The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve? *Science* 298 (22), 1568-1579.
- [Hebb, 1949] Hebb, D. (1949) *The Organization of Behavior*. John Wiley: New York.
- [Houser, 1997] Houser N. (1997). Introduction: Peirce as a logician. In Houser N., Roberts D., Evra J. (eds.), *Studies in the logic of Charles Sanders Peirce*. Indiana University Press : Indiana. 1-22.
- [Hurford, 1991] Hurford J. (1991). The evolution of the critical period for language acquisition. *Cognition* 40 (3), 159-201.
- [Hutchins e Hazlehurst, 1995] Hutchins E., Hazlehurst B. (1995). How to invent a lexicon: the development of shared symbols in interaction. In Gilbert G., Conte R. (eds.), *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*. London: UCL Press.
- [Kirby, 1999] Kirby S. (1999). Learning, bottlenecks and infinity: a working model of the evolution of syntactic communication. In Dautenhahn K., Nehaniv C. (eds.), *Proceedings of the AISB'99 Symposium on Imitation in Animals and Artifacts*. Cambridge University Press : Cambridge. 55-63.
- [Lakoff e Johnson, 1999] Lakoff G., Johnson M. (1999). *Philosophy in the Flesh: Embodied Mind and its Challenge to Western Thought*. Basic Books : New York.
- [Langton, 1995] Langton C. (ed.) (1995). *Artificial Life - An Overview*. MIT Press : Cambridge, Mass..
- [Liska, 1996] Liska J. (1996). *A General Introduction to the Semeiotic of Charles Sanders Peirce*. Indiana University Press : Indiana.
- [Loula et al, 2004a] Loula A., Gudwin R., Queiroz J. (2004a) Symbolic Communication in Artificial Creatures: an experiment in Artificial Life. In Bazzan A., Labidi S. (eds.), *Advances in Artificial Intelligence - SBIA 2004*, 17th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence, São Luis, Maranhão, Brazil. Lecture Notes in Computer Science v.3171. 336-345.
- [Loula et al, 2004b] Loula A., Gudwin R., Ribeiro S., Araújo I., Queiroz J. (2004b) A proposal for a synthesis approach of semiotic artificial creatures. In de Castro L., von Zuben, F. (eds). *Recent Developments in Biologically Inspired Computing*. Idea Group Inc. (IGI) : Hershey, PA. 270-300.
- [MacLennan, 2002] MacLennan B. (2002). Synthetic ethology: a new tool for investigating animal cognition. In Bekoff M., Allen C., Burghardt G. (eds.), *The Cognitive Animal: Empirical and Theoretical Perspectives on Animal Cognition*. MIT Press : Cambridge, Mass. 151-156.
- [MacLennan e Burghardt, 1993] MacLennan B., Burghardt G. (1993) Synthetic ethology and the evolution of cooperative communication. *Adaptive Behavior* 2 (2), 161-187.
- [Mehler, 2003] Mehler A. (2003). Methodological aspects of computational semiotics. *S.E.E.D. Journal (Semiotics, Evolution, Energy, and Development)*, 3(3). Special Issue on Computational

Intelligence and Semiotics. Queiroz J., Gudwin R. (eds.). 71-80 Disponível em : <http://www.library.utoronto.ca/see/pages/SEED>

**[Merrell, 1995]** Merrell F. (1995). *Peirce's Semiotics Now: A primer*. Canadian Scholar's Press : Toronto.

**[Noble e Davidson, 1996]** Noble W., Davidson I. (1996). *Human evolution, language and mind*. Cambridge University Press : Cambridge.

**[Noble et al, 2002]** Noble J., Paolo E., Bullock S. (2002) Adaptive Factors in the Evolution of Signaling Systems. In Cangelosi A., Parisi D. (eds.), *Simulating the Evolution of Language*. Springer Verlag : London. 53-78.

**[Nolfi e Floreano, 2002]** Nolfi S., Floreano D. (2002). Synthesis of autonomous robots through evolution. *TRENDS in Cognitive Science* 6 (1), 31-37.

**[Oudeyer, 2005]** Oudeyer P-Y. (2005) The Self-Organization of Speech Sounds. *Journal of Theoretical Biology*, 233(3), 435-449.

**[Oliphant, 1996]** Oliphant M. (1996). The dilemma of saussurean communication. *Biosystems* 37(1-2), 31-38.

**[Parisi, 2001]** Parisi D. (2001). *Simulazioni – la realtà rifatta nel computer*. Il Mulino : Bologna.

**[Parker, 1998]** Parker K. (1998). *The Continuity of Peirce's Thought*. Vanderbilt University Press : Nashville, TN.

**[Peirce, 1931-1958]** Peirce, C.S. (1931-1958). *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Electronic edition reproducing [Hartshorne C., Weiss P. (eds.) Vols. I-VI (1931-1935). Harvard University Press : Cambridge. Burks A. (ed.), Vols. VII-VIII (1958). same publisher]. Charlottesville: Intelix Corporation. (Citado como CP, seguido por volume e número do parágrafo.)

**[Queiroz, 2003]** Queiroz, J. (2003). Comunicação simbólica em primatas não-humanos: uma análise baseada na semiótica de C.S.Peirce. *Revista Brasileira de Psiquiatria* 25 (Supl II), 2-5.

**[Queiroz, 2004]** Queiroz, J. (2004). *Semiose segundo C.S.Peirce*. Educ: São Paulo.

**[Queiroz e Ribeiro, 2002]** Queiroz J., Ribeiro S. (2002). The biological substrate of icons, indexes and symbols in animal communication: a neurosemiotic analysis of Vervet monkey alarm-calls. In Shapiro M. (ed.), *The Peirce Seminar Papers* 5. Berghahn Books : New York. 69-78.

**[Ransdell, 1977]** Ransdell J. (1977). Some leadings ideas of Peirce's semiotic. *Semiotica* 19 (3/4), 157-178.

**[Santaella, 1995]** Santaella L. (1995). *A Teoria Geral dos Signos: semiose e autogeração*. Editora Ática : São Paulo.

**[Savan, 1987-88]** SAVAN, D. (1987-88). An Introduction to C.S.Peirce's Full System of Semiotic. Toronto Semiotic Circle Monographs No. 1. Toronto Semiotic Circle: Toronto.

**[Seyfarth e Cheney, 1992]** Seyfarth R., Cheney D. (1992). Meaning and mind in monkeys. *Scientific American* 267(6):122-128.

**[Seyfarth et al, 1980]** Seyfarth R., Cheney D., Marler P. (1980). Monkey responses to three different alarm calls: evidence of predator classification and semantic communication. *Science* (210): 801-803.

**[Smith, 1999]** Smith B. (1999). Situatedness-embeddedness. In Wilson R., Keil F. (eds.), *The MIT Encyclopedia of Cognitive Sciences*. MIT Press : Cambridge, Mass.. 769-770.

- [**Smith, 2004**] Smith K. (2004) The evolution of vocabulary. *Journal of Theoretical Biology*, 228(1), 127--142.
- [**Steels, 2004**] Steels L. (2004) Constructivist Development of Grounded Construction Grammars. In *Proceedings of the Association for Computational Linguistics Conference (ACL-2004)*, July 22-25, Barcelona, Spain. 9-16.
- [**Steels, 2003**] Steels L. (2003) Evolving grounded communication for robots. *TRENDS in Cognitive Science* 7 (7), 277-324.
- [**Steels, 1999**] Steels L. (1999) *The Talking Heads Experiment: Volume I. Words and Meanings*. Pre-Edition. VUB Artificial Intelligence Laboratory, LABORATORIUM, Antwerpen.
- [**Steels e Kaplan, 1999**] Steels L., Kaplan F. (1999). Situated grounded word semantics. In: Dean T. (ed.) *Proceedings of the 16th International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI'99*. Morgan Kaufmann Publishers : San Francisco, CA. vol.2, 862-867.
- [**Tattersall, 2001**] Tattersall I. (2001). How we came to be human. *Scientific American*, 285(6) (Dec.), 56-63.
- [**Tomasello, 1999**] Tomasello M. (1999). *The cultural origins of human cognition*. Harvard University Press : Cambridge, Mass..
- [**Vauclair, 1995**] Vauclair J. (1995). *L'intelligence de l'animal*. Éditions du Seuil: Paris.
- [**Vauclair, 1994**] Vauclair J. (1994). Primate cognition: from representation to language, In Parker S., Gibson K. (eds.). *Language and intelligence in monkeys and apes*. Cambridge University Press : Cambridge. 312-329.
- [**Vogt, prelo**] Vogt P. (prelo) The Emergence Of Compositional Structures In Perceptually Grounded Language Games. *Artificial Intelligence*.
- [**Vogt, 2003**] Vogt, P. (2003). Anchoring of semiotic symbols. *Robotics and Autonomous Systems* 43 (2): 109-120.
- [**Werner e Dyer, 1992**] Werner G., Dyer M. (1992) Evolution of communication in artificial organisms. In Langton C., Taylor C., Farmer D., Rasmussen S. (eds.), *Proceedings of Artificial Life II*. Addison-Wesley Pub : Redwood City, CA. 659-687.

### **Os autores**

João Queiroz <queirozj@dca.fee.unicamp.br> é pesquisador pos-doc associado ao Instituto de Biologia (UFBA) e ao Departamento de Computação e Automação Industrial (DCA-FEEC-UNICAMP) onde dirige o 'Group for Research in Artificial Cognition'. Seus interesses incluem biosemiótica, ciências cognitivas e a filosofia de C.S.Peirce.

Ricardo R. Gudwin <gudwin@dca.fee.unicamp.br> é professor do Departamento de Computação e Automação Industrial (DCA- FEEC- UNICAMP). Dirige o Grupo de Semiótica Computacional e é membro do IEEE, da Computer Society. Seus interesses incluem o estudo de sistemas e agentes inteligentes, semiótica e semiótica computacional.

Angelo Loula <angelocl@dca.fee.unicamp.br> é doutorando pelo Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial (DCA- FEEC- UNICAMP), membro do 'Computational Semiotics Group' e coordenador de pesquisa do 'Group for Research in Artificial Cognition'. Seus interesses incluem cognição artificial, processos semióticos e de comunicação, evolução e aquisição de linguagem, vida artificial e comportamentos adaptativos.