

INFORMAÇÃO COMO AÇÃO SIGNIFICATIVA EM PROCESSOS SEMIÓTICOS EMERGENTES BASEADOS EM MULTIAGENTE

Davidson Bruno da Silva
Tiago Campos Ferreira
Leonardo Lana de Carvalho

O objetivo deste capítulo é analisar o conceito de informação como uma ação significativa em sistemas complexos adaptativos. A comunicação e a linguagem são vistas como sistemas complexos por Maturana & Varela (1994), cuja principal característica é a auto-organização¹. Para estes autores, a *comunicação* é literalmente o conjunto de *ações comuns* em um coletivo de agentes. Através destas ações comuns o coletivo permanece como um grupo coeso, mantendo sua identidade. A auto-organização de um sistema coletivo de agentes pode ocorrer, pois o grupo modula as ações de cada agente, ações estas que mantêm a própria dinâmica coletiva. Para Maturana

¹ O desenvolvimento da linguagem é entendido como um fenômeno complexo. Para uma exposição da investigação psicológica do desenvolvimento da linguagem indicamos ver Tomasello & Brooks (1999).

& Varela (1994), o domínio linguístico ocorre quando a comunicação se refere a ela mesma. Neste sentido, no momento em que os agentes do grupo passam a comunicar comunicações ocorridas, os agentes agem de modo linguístico. Segundo Thompson (2007/2013), processos informacionais ocorrem na dinâmica comunicativa de sistemas auto-organizados.

Modelos e simulações baseadas em sistemas multiagente (ver FERBER, 2006) são ferramentas poderosas para a investigação de fenômenos sociais e da linguagem em específico (STEELS, 1996; 1998; 2000a; 2000b; 2003; LOULA *et al.*, 2003; LOULA 2004). Steels (2003) rompe com linhas de pesquisa da linguagem baseadas ora no cognitivismo, ora no enativismo radical, o primeiro radicalmente a favor de uma hipótese simbólica da linguagem e o segundo entendendo radicalmente a linguagem como fenômeno comunicacional sem representações. Segundo Carvalho (2008), o autor busca definir, modelar e simular sistemas multiagentes sobre os quais podemos inferir a existência de representações emergentes. Para conceituar as representações emergentes, Luc Steels aproxima-se do conceito peirceano de processos semióticos.

Sob uma vertente enativa semiótica, decidimos então:

1. Replicar resultados de convergência léxica e ampliar os resultados obtidos por Loula *et al.* (2003) e Loula (2004);
2. Para isso, foi concebido e implementado o SIMPS - *Simulador de Processos Semióticos*; e
3. Analisar o conceito de informação como ação significativa, isto é, como ações envolvidas em processos semióticos, cujos significados se encontram nos usos coletivos das palavras e expressões de jogos de linguagem. Apesar de entendermos que nem toda informação é adaptativa, buscamos resultados com informações passíveis de trazer vantagens adaptativas para grupos de agentes.

Na seção 1 apresentaremos os trabalhos relacionados à modelagem e simulação multiagente da linguagem como um sistema complexo. Na seção 2, mostraremos uma defesa do conceito de informação como ação significativa em processos semióticos emergentes. Na seção 3, apresentaremos o SIMPS e a arquitetura de nossos agentes semióticos. Por último, na seção 4, discutiremos os resultados das simulações e a análise dos dados produzidos.

1 TRABALHOS RELACIONADOS

Segundo Axtell (2007), a modelagem e simulação baseada em multiagente de fenômenos sociais chegou na primeira década do século ao fim de seu alvorecer, sendo então hoje um conjunto de conceitos, métodos e técnicas largamente utilizados. Em específico, a modelagem e simulação da linguagem emergente em sistemas complexos baseados em multiagente já possui também uma longa história.

Steels (1996; 1998; 2000a; 2000b; 2003) propõe passar de uma abordagem baseada no enativismo radical (HUTTO & MYIN, 2013; 2017), radicalmente contrário ao conceito de representação, tal como podemos encontrar em Brooks (1991), às funções cognitivas de alto nível através de representações emergentes em sistemas multiagente. Para Steels (2003), interações entre agentes ocorrem envolvendo signos, ou seja, representações emergentes ativas. Steels (1996; 1998; 2000a; 2000b; 2003) observa que o surgimento da comunicação é o resultado da relação entre unidades autônomas que, ao interagirem, constituem um coletivo de agentes auto-organizado, o que corrobora a visão enativa da comunicação e da linguagem (MATURANA & VARELA, 1994). Todavia, o autor conjectura que é possível assimilar

o conceito de representação, entendido como processos semióticos, aos processos comunicacionais auto-organizados em sistemas multiagente. Neste sentido, os agentes de um sistema coletivo auto-organizado devem ser dotados de uma arquitetura que os possibilite uma comunicação baseada em processos semióticos.

Ao contrário de uma abordagem cognitivista, para a qual toda comunicação e inteligência está estritamente baseada em símbolos físicos, a teoria enativa entende que a fonte da inteligência se encontra na auto-organização dos sistemas (VARELA, THOMPSON & ROSCH, 1991). Neste sentido, Steels (2003) entende que processos semióticos precisam estar envolvidos em dinâmicas coletivas auto-organizadas.

Nem todo processo comunicacional ocorre ao nível semiótico (MATURANA & VARELA, 1994). Um exemplo disto pode ser visto no modelo de forrageamento (DROGOUL, 1993; DROGOUL & FRESNEAU, 1998), em que os agentes não são dotados de processos semióticos e se caracterizam como estritamente reativos. Neste modelo, a comunicação ocorre de modo indireto, isto é, as ações dos agentes são moduladas pelo ambiente modificado pelos próprios agentes (LENAY, 1994). As ações dos agentes sobre o ambiente (assim também uns sobre os outros) leva a trajetórias emergentes, também descritas como comportamentos emergentes. Com relação a essas trajetórias emergentes, Steels (2003) diz que se tratam de estruturas que cumprem o papel de organizar a atividade coletiva dos agentes.

Estas trajetórias cumprem um papel de exploração de soluções de um problema específico (que se constitui no próprio ambiente em questão) e de busca de novas soluções neste ambiente. Assim, a comunicação ocorre

como um sistema complexo adaptativo em um equilíbrio dinâmico entre *exploration* e *exploitation*² (ver KENNEDY *et al.*, 2001). As trajetórias nas organizações são como um registro das atividades, como uma memória coletiva (ver HALBWACHS, 1950/1997), afirma Steels (2003). Kennedy *et al.* (2001) notam que uma série de meta-heurísticas são baseadas em sistemas complexos adaptativos, exatamente por explorarem esta propriedade dos sistemas complexos, o equilíbrio entre *exploration* e *exploitation*, a fim de atingir um ótimo global.

No desenvolvimento de uma visão enativa semiótica (ver HALL, 2006; CARVALHO, 2008; KULL *et al.*, 2009; STEWART, 2010; JESUS, 2016), a transição de um sistema complexo adaptativo para um sistema cognitivo depende do surgimento de *representações*, mas representações no sentido de processos semióticos emergentes (CARVALHO, 2008). Várias contribuições dedicaram-se a propor sistemas complexos baseados em agentes semióticos, os quais constituem os trabalhos relacionados de nossa pesquisa.

Luc Steels procura assegurar que agentes semióticos possam convergir não apenas sobre um léxico, mas também sobre regras gramaticais, o que abre a possibilidade de surgimento de sentenças (STEELS, 2000a; 2000b; 2007). Na interação humano-computador, o surgimento de uma linguagem comum através de convergência de léxico foi proposta

² Kennedy *et al.* (2001) relatam que um sistema pode fazer *exploration* e *exploitation* de informações. O sistema informacional realiza *exploration* quando busca novas informações e *exploitation* quando utiliza informações existentes. Como componente do sistema, o agente está envolvido em processos informacionais de *exploitation* e *exploration* em diferentes momentos. Os conceitos evoluíram superando a dicotomia individualista, entendendo os conceitos como processos em equilíbrio em um coletivo de agentes, em sistemas complexos baseados em multi-agente. Em meta-heurísticas, um balanceamento correto entre *exploration* e *exploitation* leva a um método eficiente de solução de problemas de otimização, caracterizando-o como um fenômeno de inteligência coletiva.

por Stuber, Hassas & Mille (2003; 2005). Um experimento digital foi realizado com robôs “*Talking Heads*”, colocando uma população de alguns milhares de agentes para controlar o movimento de câmeras, a fim de capturar imagens de figuras geométricas sobre um quadro branco e convergir sobre um léxico comum. Assim as “cabeças” (câmeras) usariam os mesmos símbolos para fazer referência à quadrados, triângulos, etc. (STEELS, 2003).

Steels (2003) propõe, através deste tipo de jogo de linguagem, que os símbolos que têm sua maior frequência de uso são representações emergentes. Com efeito, os usos dos símbolos são trajetórias emergentes no sistema complexo baseado em agentes. Trata-se também de um processo semiótico porque fazem parte do triângulo semiótico peirceano (Interpretante - Objeto - Signo). É inicializada uma lista de símbolos possíveis, mas o símbolo que toma seu lugar no triângulo semiótico o faz por mecanismos de *feedback* positivo. Todavia, sua perenidade é um caso de criticalidade auto-organizada. Assim, a manutenção do uso de um símbolo em uma relação semiótica depende da complexa dinâmica do coletivo em um ambiente.

Como resultado, Steels (2003) apresenta gráficos mostrando a frequência de uso de certas formas simbólicas em um contexto semiótico. A abscissa mostra o número de jogos de linguagem e a ordenada mostra a frequência de uso de todas as formas simbólicas disponíveis. Ao final, um símbolo é coletivamente “escolhido” para referenciar um objeto (STEELS, 2003).

Loula *et al.* (2003), Loula (2004) e Loula *et al.* (2005) criaram um ambiente para a simulação de ecossistemas que permite a interação cooperativa entre agentes “macacos” para

se proteger de seus três tipos de predadores, o “tigre”, a “cobra” e o “falcão”. Macacos se comunicam emitindo sinais de um para outro. O objetivo da simulação, para além de um modelo predador/presas, foi desenvolver uma arquitetura para o surgimento da comunicação semiótica entre agentes artificiais. O desenvolvimento dessa arquitetura foi inspirado na semiótica de C. S. Peirce, cujos resultados apontam convergência léxica. Neste modelo, cada macaco utiliza uma lista comum de símbolos para informar sobre a ocorrência de determinado evento. Após certo número de interações entre os agentes no ambiente, os macacos passam a utilizar os mesmos símbolos para indicar a presença dos predadores e, assim, conseguem evitá-los melhor. Loula *et al.* (2003), Loula (2004) mostram, deste modo, a eficiência adaptativa do léxico emergente.

Arnellos, Spyrou & Darzentas (2003, 2006) também reproduziram os resultados de L. Steels. Mas estes autores deram uma importante contribuição ao entender a expressão “representação emergente” usada por Steels como um sistema auto-organizado envolvendo relações semióticas. Arnellos *et al.* (2003, 2006) também enfatizam que o significado de *significado* é uma propriedade semiótica. Loula *et al.* (2003), Loula (2004) e outros entendem os usos emergentes dos símbolos como o significado dos mesmos, adotando assim uma visão pragmática da semântica em sistemas complexos baseados em agentes semióticos. Arnellos, Vosinakis, Spyrou & Darzentas (2006) destacam que o surgimento de “representações autônomas” inclui funções em estruturas dinâmicas que fornecem suporte tanto para o surgimento espontâneo de uma sintaxe quanto de um léxico.

Construções fluidas de gramáticas (STEELS, 2011; WELLENS et al, 2013) estão disponíveis como um formalismo de gramática de código aberto que permite abordar a questão de como mudanças dinâmicas da linguagem ocorrem, descobrindo os mecanismos cognitivos e os processos culturais que impulsionam a evolução da linguagem.

2 INFORMAÇÃO COMO AÇÃO SIGNIFICATIVA EM PROCESSOS SEMIÓTICOS EMERGENTES

Steels (1998; 2000a; 2000b; 2003) defendeu a passagem do uso de simples agentes reativos, tal como visto em Brooks (1991), à concepção de agentes semióticos. Agentes semióticos são entendidos como um tipo de agentes reativos dotados de uma arquitetura semiótica, não possuindo, necessariamente, capacidades de inferência lógica, tal como em agentes cognitivistas³ (ver GOMES *et al.*, 2015).

Segundo Andler (1998), Halpin (2006), Carvalho (2008) e outros, o problema do conceito de representação é um problema central e assim incontornável das ciências cognitivas. Ao entender a representação como um sistema simbólico, o cognitivismo inaugura uma abordagem simbólica física da informação, o que ficou conhecido como o paradigma do processamento da informação. Newell & Simon (1976) postulam a hipótese simbólica física da mente, entendendo que qualquer sistema mental (cognitivo, inteligente, etc.) é um *sistema simbólico físico* (SSF). Assim SSF são, para o cognitivismo, necessários e suficientes para todo e qualquer sistema inteligente (inclusive aqui os artificiais e os naturais, como o ser humano). Pylyshyn (1984) descreve que a semântica é uma

³ Para uma revisão da tipologia de agentes, ver Ferber (2007).

propriedade epifenomênica⁴ de SSF, não tendo assim nenhuma eficiência causal sobre o processamento das informações. Baseadas em símbolos físicos, as informações somente são causais enquanto entidades físicas instanciadas, ocorrendo no cognitivismo uma separação entre a semântica (significado) de seu suporte físico causalmente eficiente (o símbolo). Como herdeiro deste pensamento, Searle (1980) não soube dissolver este problema e perdido nesse labirinto conceitual, após criticar o epifenomenismo, acabou por concluir que SSF artificiais são vazios semanticamente.

Uma visão da semântica aliada ao pensamento wittgensteiniano entende o significado como uso (Wittgenstein, 1953/2001). Também, para a teoria enativa, nem toda ação cognitiva é baseada em símbolos, mas toda ação simbólica é, antes de tudo, *ação*. A primazia da ação levou Varela, Thompson e Rosch (1991) a chamar a teoria corpórea da cognição de teoria *enativa (em ação)*. Um sistema é cognitivo e inteligente para a teoria enativa se ele existe como uma ação autopoiética. Um conjunto complexo de ações capazes de replicar as estruturas necessárias para a manutenção das ações é a condição necessária e suficiente para toda cognição, inclusive para a cognição simbólica.

Para a teoria enativa, o sentido das ações dos organismos autopoiéticos encontra-se no nicho. Assim os processos informacionais (e não processamento da

⁴ O epifenomenalismo entende que propriedades mentais são causadas por eventos físicos, todavia não tendo a capacidade de afetar nenhum evento físico. Em organismos complexos, a ação é vista como um comportamento causado pela contração de músculos sob controle de impulsos neurais, e os impulsos neurais sendo gerados pela estimulação em órgãos sensoriais. Para o epifenomenalismo esta linha causal é suficiente para explicar as ações, sendo os eventos mentais fenômenos causados como adereços pois não desempenham papel causal nesse processo. A teoria enativa critica duramente a visão epifenomenalista da mente ao argumentar que a mente está na ação. O que se chama de propriedades mentais somente existe ao se realizarem como processos corpóreos, sendo que estes processos possuem um campo fenomênico isomórfico (ver CARVALHO, 2018)

informação) (THOMPSON, 2007/2013), ocorrem em sistemas auto-organizados, onde agentes agem sobre um meio, modificando-o e sendo modelados por este mesmo ambiente. É nesta relação dos sistemas auto-organizados que as ações são significativas e informam.

Visando modelar computacionalmente processos semióticos, buscamos gerar um sistema auto-organizado, sem o qual não faz sentido falarmos de semântica e também de informação. As relações de determinação entre agentes de um sistema auto-organizado gera um sistema comunicacional muito eficiente, mesmo na solução de problemas difíceis (ver KENNEDY & EBERHART, 2001). Todavia, entendemos que uma arquitetura de agentes semióticos é necessária para avançar de um sistema multiagente reativo para um sistema multiagente semiótico (ver GOMES *et al.*, 2015).

Neste sentido, entendemos que processos semióticos são processos comunicacionais, mas nem todo processo comunicacional possui uma estrutura semiótica, como dito anteriormente. Ao situá-lo no campo da ciência cognitiva enativa, defendemos que informações ocorrem estritamente em processos semióticos. Assim entendemos que processos informacionais são processos comunicacionais semióticos. Esta é uma tese que difere profundamente da vertente radical do enativismo (HUTTO & MYIN, 2013; 2017), a qual continua defendendo que semiótica é uma teoria representacionista dualista, vestígio do pensamento cartesiano. O enativismo semiótico (ver HALL, 2006; CARVALHO, 2008; KULL *et al.*, 2009; STEWART, 2010; JESUS, 2016), busca assimilar o conceito peirceano de semiótica aos conceitos de enação e autopoiese de Maturana e Varela. Ao fazer isso, entendem a semiótica

como processos, isto é, a semiótica ocorrendo na ação, mais especificamente na comunicação (na auto-organização).

A partir da vertente enativa semiótica, hipotetizamos que a informação é uma ação significativa que ocorre em processos semióticos emergentes, em sistemas complexos, baseados em multiagente. Para que seja uma ação significativa, o critério foi de que os agentes devem usar coletivamente os mesmos símbolos para fazer referência aos mesmos predadores e assim obter vantagens de fuga. Os resultados iniciais que tivemos confirmam esta hipótese, revelam que a convergência do léxico que surge das interações entre os agentes aumenta em muito as chances de sobrevivência de agentes presa. Isto é, envolvidos em um processo semiótico coletivo, os agentes de fato informam uns aos outros.

A análise do conceito de informação proposta aqui pode ser vista como uma compatibilização do conceito de processamento da informação do cognitivismo com o conceito de informação como ação significativa na teoria enativa. Entendemos que esta compatibilização se faz sob uma perspectiva de sistemas complexos da cognição. Para a teoria enativa, a informação existe na comunicação, isto é, nos processos envolvidos na autopoiese de um sistema cognitivo.

Assim defendemos que a informação como ação significativa em processos emergentes semióticos baseados em multiagente ocorre a partir da convergência de um léxico em processos auto-organizados, isto é, na comunicação. O processamento de símbolos por uma estrutura algorítmica é necessária (tese cognitivista) em multiagente, mas não é suficiente para caracterizar a informação, pois é necessário que esteja envolvida em um processo complexo auto-organizado

para que tenha sentido, para que seja uma ação significativa (tese enativista).

Nas seções seguintes, passamos à análise, concepção e implementação de sistemas complexos auto-organizados baseados em multiagente, apontando como fornecem um modo promissor de investigação dos conceitos de informação, linguagem, semiótica e semântica. Enfatizamos a importância da informação (ação significativa) em sua função adaptativa, ao fortalecer o coletivo auto-organizado.

3 SIMPS

O propósito desta seção é analisar, conceber e implementar um léxico que emerge das interações entre agentes semióticos de um sistema multiagente auto-organizado. Para conduzirmos o experimento, partimos da construção de um simulador, originalmente proposto por Loula (2004), em que presas e predadores coexistem em um ambiente virtual e interação entre si através de processos básicos como memória associativa, percepção e foco de atenção. Neste trabalho, propomos avaliar o quanto a comunicação que surge por meio da convergência do léxico é efetiva para a sobrevivência das presas, ou seja, o quão melhor esses agentes conseguem se manter vivos em um ambiente hostil, utilizando a comunicação semiótica que constroem através dos usos dos símbolos. A esse simulador demos o nome de Simulador de Processos Semióticos (SIMPS).

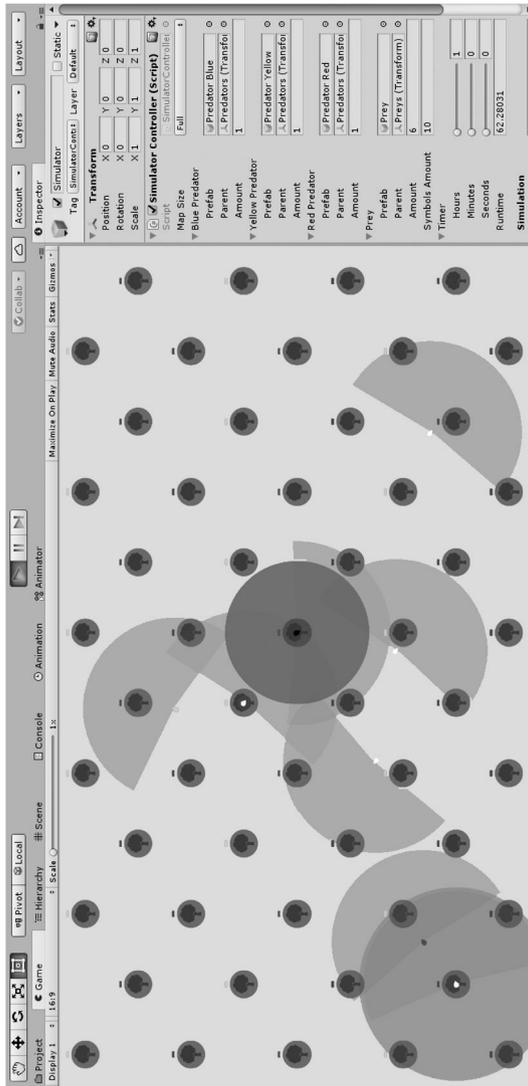


Figura 1: Captura de tela do SIMPS (Fonte: o autor).

SIMPS é inspirado no estudo etológico dos macacos *vervets* apresentado por Loula (2004). Tal como no simula-

dor proposto pelo autor, o SIMPS é composto de criaturas, divididas entre presas e predadores, e objetos estáticos como esconderijos. Os agentes interagem entre si através de sensores como audição e visão e os agentes-presa se comunicam através da emissão de sons (símbolos) de maior relevância para eles para descrever a situação de perigo de um momento específico.

3.1 TECNOLOGIAS DE PROGRAMAÇÃO, CONFIGURAÇÕES DE AMBIENTE E INTERFACE

SIMPS foi construído na linguagem de programação C# sobre o motor de desenvolvimento de jogos Unity⁵. Com o SIMPS o usuário consegue executar, pausar e interromper as simulações, além de poder avançá-las *frame a frame* e configurá-las através do *Inspector* do Unity. Entre as opções de configuração disponíveis estão, por exemplo, a duração da simulação, a quantidade de presas e predadores que atuarão no cenário, o tamanho do ambiente, a quantidade de testes e os modos das simulações, que podem ser *com aprendizado*, *sem aprendizado* ou *alternado*.

No modo de simulação *com aprendizado*, as presas conseguem associar determinado símbolo que recebem a um predador de sua área visual, o que não ocorre no modo de simulação *sem aprendizado*. De outra forma, no modo *alternado*, pressupõe-se que o usuário deseja realizar várias simulações com os mesmos parâmetros, porém não deseja ter que iniciá-las toda vez. Assim, as simulações são alternadas entre *com aprendizado* e *sem aprendizado*.

⁵ O Unity foi escolhido por possuir um ecossistema de desenvolvimento bastante simples e poderoso, facilmente customizável e com vasta documentação. Essa ferramenta se integra muito bem às tecnologias e linguagens de programação mais utilizadas atualmente e ainda torna muito simples o processo de criação da parte visual.

O ambiente do SIMPS é parcialmente observável, estocástico, sequencial, dinâmico, contínuo e multiagente e varia entre os tamanhos pequeno, médio e grande, a depender da escolha do usuário. O usuário vê a simulação por meio de uma visão *top-down* de duas dimensões, em que é possível observar as interações com uma câmera vista de cima.

Toda a parte gráfica do SIMPS foi construída especificamente para o projeto. Os agentes são identificados no ambiente por marcadores em forma de agulha. Para identificar as presas, adotamos, como convenção, a cor branca. De outro modo, distinguimos os predadores por meio de três classes de cores: azul, amarelo e vermelho. O mesmo critério de divisão em classes também é atribuído aos esconderijos, de maneira que presas que se escondem em árvores com marcadores vermelhos, por exemplo, estão protegidas dos ataques de predadores vermelhos. A distribuição desses esconderijos foi feita de maneira uniforme e alternada para garantir as mesmas condições para todas as simulações. Os alarmes também são exibidos na interface como uma área circular que se expande e desaparece gradativamente. Eles também podem assumir as cores das classes dos predadores avistados pelas presas. Os raios de visão são exibidos na interface em forma de “leque” para se aproximarem de como ocorre no mundo real.

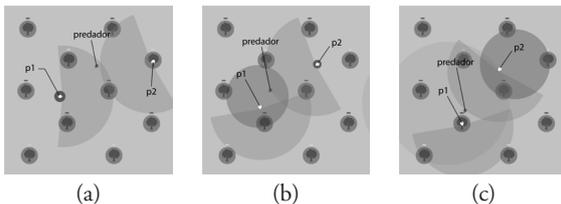


Figura 2: *Storyboard* do aprendizado das presas: (a) uma presa $p1$ (marcador branco à esquerda) vê um predador (marcador vermelho acima do centro) e dispara um alarme (área circular vermelha em torno de $p1$) ao ambiente para indicar sua aproximação; (b) após verificar o próprio raio de ação, a presa $p1$ se dirige ao escon-

derijo mais próximo que a protege contra o predador visto. Enquanto isso, outra presa $p2$ (marcador branco à direita) vê o mesmo predador e também dispara um alarme (área circular vermelha em torno de $p2$) ao ambiente; (c) O alarme emitido por $p1$ é escutado por $p2$ e, nesse momento, $p2$ associa o sinal recebido ao predador que está vendo. (Fonte: o autor).

3.2 ORGANIZAÇÃO DO PROJETO

No desenvolvimento do SIMPS, os *scripts* foram separados em *comportamentos*, *controladores*, *enumeradores* e *utilitários*. Os comportamentos são *scripts* que definem como determinado objeto vai agir no ambiente. No caso das presas, por exemplo, os comportamentos atribuídos foram o de explorador, aprendiz, medroso e mortal, enquanto que os predadores receberam os de explorador e caçador.

Os controladores, por outro lado, são responsáveis por gerenciar os *gatilhos* do Unity. O controlador de visão, por exemplo, registra quem está presente no campo de visão e o *controlador de audição* registra informações sobre o último sinal ouvido pelo agente. Também há outro tipo: o *controlador de contato*. Esse último altera o estado e a animação da presa quando ela encontra uma árvore ou é capturada por um predador. Por fim, há também o controlador de fuga, que mantém o registro sobre todos os esconderijos vistos pelas presas em uma área circular de raio igual ao do campo de visão. Os *enumeradores* são como trechos de código que facilitam a organização e o entendimento do projeto por meio de índices definidos pelo programador. Os *utilitários*, por sua vez, são pequenos programas independentes que executam tarefas concorrentes com a simulação. Estes programas são criados, em sua maioria, para gravar os estados da simulação durante sua execução.

3.3 COMPORTAMENTO DOS AGENTES

Diferentemente do trabalho de Loula (2004), as presas do SIMPS possuem ambos os papéis de emissoras e aprendizes. Elas também exploram o ambiente, fogem, escondem-se e morrem, assim como os predadores exploram o ambiente e caçam. As presas que morrem não são eliminadas do simulador, porém suas mortes são contabilizadas para efeitos de avaliação da adaptação dos agentes. Também propomos um modelo mais simples em relação ao apresentado por Loula (2004) no que diz respeito aos drivers dos agentes: seus comportamentos são guiados apenas por fadiga, fome e medo.

A exploração dos agentes é alternada entre um período curto de descanso e outro período de transição de uma posição para outra, ambos sendo gerados aleatoriamente em um intervalo de tempo parametrizável. As posições seguintes também são geradas ao acaso até o limite da área de ação do agente, o que também pode ser configurado pelo usuário.

Outra diferença perceptível em relação ao modelo proposto por Loula (2004) é que não há distinção motora entre os predadores. Para este primeiro momento, as simulações foram conduzidas de modo que todos os agentes, independentemente de suas classes e papéis, se movam a uma mesma velocidade. Acreditamos que essa simplificação torna o modelo um pouco mais fácil de ser interpretado, sobretudo quando fizermos a análise da adaptatividade dos agentes-presa, que será apresentada na seção de resultados. Justificando através dos eventos naturais, podemos pensar que as presas possuem predadores com velocidade média semelhante às delas.

No SIMPS, cada presa compartilha do mesmo conjunto de símbolos, que inicialmente possuem probabilidades

de uso distintas para indicar a aproximação de diferentes predadores. Cada presa notifica ao ambiente um evento capturado por ela através da emissão do sinal que possui maior valor para aquele predador específico que está vendo. Se em algum momento dois ou mais símbolos possuem o mesmo valor na tabela de associação símbolo-predador, um deles é escolhido ao acaso para ser emitido. Em outras palavras, se em algum momento a presa utiliza mais de um símbolo para identificar um único predador, ela alerta sobre qualquer um deles. Admitte-se a posição da presa como posição de origem do alarme no instante em que ela o dispara.

Outras presas que estiverem no raio de propagação do sinal certamente irão ouvi-lo. O sucesso do aprendizado ocorre quando a presa associa o sinal que recebeu a um predador que está em sua área visual (aprendizagem por reforço positivo). Caso mais de um predador esteja no campo de visão da presa no momento em que ela receber o sinal, um deles é escolhido ao acaso para participar da associação.

Para efeitos de simplicidade, os predadores possuem somente o sensor de visão, de modo que podem perseguir presas que entrem nessa área de contato. Ao caçarem, eles se utilizam das informações armazenadas pelo *controlador de visão* para definirem os alvos a serem perseguidos. Se uma presa entrar em sua área visual, a posição-alvo do trajeto do predador é alterada para a posição da presa avistada. Ainda que mais de uma presa seja vista, o alvo continuará sendo o primeiro. Se uma presa estiver no campo de visão do predador no momento em que ela entra em um esconderijo, o predador deixa de vê-la e, conseqüentemente, para de persegui-la.

Quando veem algum predador ou reconhecem algum sinal emitido, as presas sentem medo. Há pelo menos duas

ações tomadas por elas quando veem um predador: 1) se houver algum esconderijo dentro de sua área de ação que a protege contra aquele predador, a posição-alvo da presa passa a ser a posição do esconderijo mais próximo e 2) se não houver esconderijo disponível dentro de sua área de ação, a posição-alvo da presa passa a ser alguma posição aleatória contida na área de ação, especificamente do quadrante oposto ao da posição do predador.

Quando um alarme é percebido por uma presa que não está vendo nenhum predador, ela tenta reconhecê-lo comparando-o com os sinais entendidos naquele momento. Se o sinal não for reconhecido, a presa não age. Do contrário, a presa se dirige ao esconderijo mais próximo que a protege contra o predador que ela acredita que faz parte do alerta.

Em seu trabalho, Loula (2004) fixa todos os valores das funções que utiliza em um intervalo de valores reais entre zero (inclusive) e um (inclusive). No modelo proposto por ele, dizemos que um símbolo está em uso quando o seu valor é maior que os dos outros símbolos utilizados para identificar um mesmo predador. Se o autor utilizasse somente o *reforço positivo*, haveria complicações no modelo, uma vez que, à medida em que a simulação ocorre, dois ou mais símbolos podem assumir os valores máximos da função. Isso significa que determinada presa utilizaria mais de um símbolo para identificar um mesmo predador, tornando a linguagem que emergiu pouco efetiva. Para não cair neste problema, Loula (2004) emprega um decremento no valor da probabilidade do uso de um símbolo ao longo das iterações, um processo de *extinção*⁶ no caso. Em outras palavras, à medida que o tempo

⁶ Usamos aqui os conceitos de Skinner (1969) para caracterizar processos como extinção e também reforços e punições, os quais podem ser definidos como positivos ou negativos. A extinção de um comportamento ocorre pela ausência de reforços ao longo do tempo. Qualquer estímulo (entrada) que leve ao aumento da probabilidade de ocorrência de uma resposta (saída) é um reforço. Sendo a punição qualquer estímulo (entrada) que leve

passa e o símbolo não é utilizado, o valor da associação é reduzido, permitindo que outros símbolos assumam o posto ao atingirem valores mais altos.

Embora tenhamos como perspectiva a utilização da extinção na continuidade deste projeto, neste trabalho procedemos de maneira diferente. Seja o valor de *associação símbolo-predador para certo agente* (triângulo peirceano), a função que descreve o aprendizado das presas é uma função recursiva dada por:

$$f(x + 1) = f(x) + 1, \quad x \in \mathbb{N}.$$

Removendo o limite superior do intervalo, podemos nos basear apenas no emprego do *reforço positivo*, tal como pode ser observado acima.

4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS DADOS

4.1 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Ao todo foram realizadas sessenta simulações, das quais trinta eram *com aprendizado* e o restante *sem aprendizado*. Cada simulação foi executada com tempo de duração fixo de sessenta minutos, com a adição de seis presas, um predador do tipo vermelho, um do tipo amarelo e um do tipo azul. O conjunto de símbolos, definido com dez elementos, foi compartilhado entre as presas no processo de vocalização do alarme.

à diminuição da probabilidade de ocorrência de uma resposta (saída) de um agente. Um estímulo é dito positivo quando é apresentado e ele é negativo quando retirado das relações. Um exemplo de reforço negativo pode ser obtido ao se retirar a tarefa de lavar as louças, condicionada a tarefas escolares realizadas com apreço.

Mesmo com a simplificação da ideia proposta por Loula (2004), obtivemos o mesmo resultado alcançado por ele em relação à construção da linguagem emergente pela auto-organização. Inicialmente, dividimos os nossos testes de modo igual entre simulações *com aprendizado* e *sem aprendizado*. Porém, graças a essa abordagem, pudemos perceber em nosso experimento um grupo de simulações *com aprendizado* que apresentou resultado pior do que as *sem aprendizado*. Elas possuem em comum a existência de *polissemia*, que ocorre quando uma ou mais presas utilizam o mesmo símbolo para identificar predadores distintos. A essas demos o nome de *simulações com convergência parcial*. Também colocamos como parte deste grupo as simulações em que a convergência não ocorreu dentro do limite de tempo estabelecido. Ao grupo em que as presas utilizam símbolos distintos para identificar cada um dos predadores, demos o nome de *simulações com convergência total*. E por fim, ao grupo em que a capacidade de aprendizado das presas foi desabilitada, demos o nome de *simulações sem convergência*.

Tabela 1 – Número de simulações conduzidas por tipo de simulação

Tipo de simulação	Frequência Absoluta (F.A.)	Frequência Relativa (F.R.)
Simulações com convergência parcial	15	25%
Simulações com convergência total	15	25%
Simulações sem convergência	30	50%
Total	60	100%

Fonte: o autor.

Dentre as trinta simulações com aprendizado, apenas uma não convergiu dentro do limite de tempo estabelecido, tendo sido esta uma convergência parcial.

Visamos analisar a adaptatividade das presas em relação à linguagem construída com base nos usos dos símbolos. Para isso, uma vez que queremos saber se a convergência melhora o desempenho das presas no ambiente, partimos do princípio de contar o número de mortes delas ao longo do tempo para cada tipo de simulação, conforme é mostrado pela Figura 4 e pela Tabela 2 a seguir.

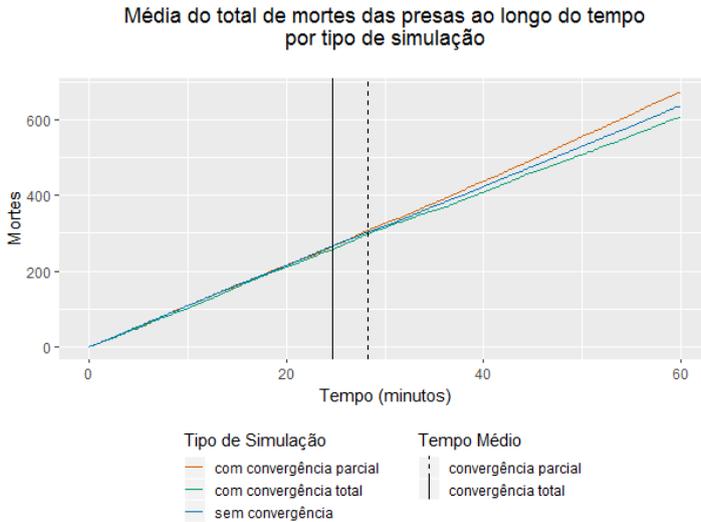
Tabela 2 - Média de mortes das presas por tipo de simulação ao final das simulações

Tipo de simulação	Média de mortes
Simulações com convergência parcial	674,87
Simulações com convergência total	607,47
Simulações sem convergência	637,77

Fonte: o autor.

Observamos então que as simulações parciais apresentam um quadro de informações falsas. Dizemos que estas não trazem vantagens adaptativas por gerarem um número de mortes maior do que o das simulações com convergência léxica desabilitada (com o sistema funcionando estritamente ao nível comunicacional).

Figura 4 - Média do total de mortes das presas ao longo do tempo por tipo de simulação. Resultados obtidos pelo SIMPS



Fonte: o autor

Passemos na subseção seguinte à análise dos dados produzidos.

4.2 ANÁLISE DOS DADOS

Como é possível observar na Figura 4, a partir de trinta minutos aproximadamente, momento posterior ao tempo médio de convergência total e parcial das presas, o número de mortes começa a variar entre os tipos de simulação. Pelo desenho do gráfico, somos levados a crer que se aumentarmos o tempo das simulações, mais acentuada será essa variação. De acordo com os resultados da Tabela 2, o número de mortes das simulações com convergência total foi 4,8% menor do que nas simulações sem convergência, até o instante de tempo limite determinado. Por outro lado, as simulações com conver-

gência parcial mostraram-se piores do que as simulações sem convergência em 5,8%. Isso nos mostra que eventos completamente aleatórios podem ser melhores do que eventos com convergência parcial, uma vez que esse último é determinado por erro semântico (polissemia). Além disso, fica evidente que o processo de efetiva comunicação semiótica depende da construção de uma linguagem que é entendida pelos indivíduos, sendo necessário que utilizem símbolos distintos para cada um dos predadores (discriminação de estímulos).

Entendemos que o número de mortes nas *simulações com convergência parcial* aumenta à medida em que o alarme disparado por uma presa $p1$ para indicar a presença de um predador a é entendida por outra presa $p2$ como um indício da presença de um predador b , uma vez que o símbolo utilizado no processo de comunicação é o mesmo para ambos. Desse modo, $p2$ é levado a agir erroneamente em resposta ao estímulo interpretado por ele a partir do alerta recebido, o que pode findar em sua própria morte. Caracterizamos esse processo como um erro semântico.

Entendemos como informações no modelo em questão o fluxo de entrada e saída processada pelos agentes semióticos. Este fluxo de ações no sistema multiagente não está limitado ao interior dos agentes, mas se encontra em suas relações envolvidas na auto-organização do coletivo. Com a função semiótica habilitada ou não obtemos, pelas interações dos agentes, um sistema auto-organizado, isto é, comunicacional. Ao habilitarmos os processos semióticos no sistema auto-organizado, ele apresenta usos emergentes dos símbolos (convergência léxica).

Alguns processos informacionais trazem vantagens adaptativas, sobretudo aqueles que discriminam totalmente os

predadores. Nestes, as informações não carregam ambiguidade e trazem vantagens de sobrevivência para os agentes presas, preservando o coletivo das presas. As informações ambíguas são polissemias, no caso, um símbolo faz referência a mais de um predador, o que não permite ao agente presa adotar uma boa estratégia de fuga em função do tipo de predador, levando-o a morte. Ações significativas podem assim ser falsas e, no caso de nossos resultados, eles mostram que informações falsas podem mesmo ser mais prejudiciais aos agentes presa do que um caso de comunicações sem relações semióticas.

CONCLUSÃO

O tema deste trabalho foi o estudo da informação como ação significativa em processos semióticos emergentes em sistemas complexos baseados em multiagente. Tratou-se de uma pesquisa interdisciplinar na área de Ciências Cognitivas, com foco em psicologia cognitiva e vida artificial. Com a finalidade de caracterizar o conceito de informação como um processo semiótico emergente, concebemos e implementamos um léxico emergente baseado em símbolos que, ao informar uma situação de perigo, podem fornecer vantagens adaptativas a agentes de um sistema multiagente auto-organizado. Nossas simulações corroboram os resultados da literatura, notadamente os obtidos por Steels (1996; 2003), Loula *et al.* (2003), Loula (2004), Arnellos, Spyrou & Darzentas (2003, 2006). A nossa análise foi feita segundo o método da análise conceitual.

Procedemos pela construção de um *Simulador de Processos Semióticos*, o qual chamamos de SIMPS, para representar um cenário real, originalmente proposto por Loula et al. (2003), em que agentes presas (“macacos *vervets*”)

interagem entre si e com o ambiente através de processos básicos como memória associativa, percepção e foco de atenção, possuindo também *drivers* de fadiga, fome e medo. Cada presa compartilha do mesmo conjunto de símbolos que inicialmente possuem probabilidades de uso distintas para cada um deles para indicar a aproximação de diferentes predadores. Cada presa notifica ao ambiente um evento capturado por ela através da emissão do sinal que possui maior probabilidade de uso. Os demais agentes-presa podem perceber este sinal através de seus sensores visual e auditivo. Para cada sinal recebido com sucesso, há um reforço empregado à probabilidade de uso daquele símbolo para fazer referência ao predador que apareceu na área visual.

Os resultados de nossas simulações mostraram que, mesmo com a simplificação do modelo proposto por Loula (2004), obtivemos os mesmos resultados de convergência dos símbolos. Estes resultados foram ainda obtidos a partir de um número maior de simulações do que os de Loula (2004). Também repartimos a população de agentes em três grupos: (1) convergência total, (2) convergência parcial e (3) sem convergência. Com estes três grupos, ao invés de usar somente os grupos (1) e (3), como nos resultados de Loula (2004), pudemos perceber melhor a eficiência adaptativa da convergência de léxico ao termos encontrado um número intermediário de mortes no grupo (3), com relação aos grupos (1) e (2).

Hipotezamos que a informação é uma ação significativa que ocorre em processos semióticos emergentes. Para que sejam uma ação significativa, o critério foi o de que os agentes deveriam usar coletivamente os mesmos símbolos para fazer referência aos mesmos predadores. A partir dos resultados, percebemos que, para que a informação fosse adaptativa e forne-

cesse às presas vantagens de fuga, foi necessário no modelo que houvesse uma discriminação total dos predadores pelas presas. Neste caso, a eficiência protetiva da informação é maior se um símbolo não é usado para referenciar mais de um predador.

A análise do conceito de informação proposta aqui trata de uma compatibilização do conceito de processamento da informação do cognitivismo com o conceito de informação como ação significativa na teoria enativa. Entendemos que esta compatibilização se faz sob uma perspectiva de sistemas complexos da cognição, da qual a vertente semiótica em teoria enativa se aproxima mais. Para a teoria enativa, a informação existe na comunicação, isto é, nos processos envolvidos na autopoiese de um sistema cognitivo. Assim, defendemos que a informação como ação significativa em processos emergentes semióticos baseados em multiagente ocorre a partir da convergência da linguagem em processos auto-organizados, isto é, na comunicação. Todavia, a informação ocorre em processos semióticos comunicacionais. Com isso, defendemos que processos semióticos são uma condição necessária para processos informacionais, também em sistemas autopoieticos naturais.

Em sistemas artificiais, o processamento em uma estrutura simbólica física é necessária (tese cognitivista) para a arquitetura multiagente, mas não é suficiente para caracterizar a informação, pois é necessário que esta esteja envolvida em um processo auto-organizado complexo para que tenha sentido, para que seja uma ação significativa (tese enativista). Informação não é simplesmente um dado processado por regras lógico-matemáticas, mas antes de tudo uma ação significativa em sistemas auto-organizados semióticos. No mais, enfatizamos a importância da concepção e implementação de

arquiteturas de agentes semióticos a fim de obtermos processos semióticos emergentes.

Concluimos que a análise, concepção e implementação de sistemas complexos auto-organizados baseados em multi-agente fornecem um modo promissor de investigação dos conceitos de informação, linguagem, semiótica e semântica. Enfatizamos a importância da informação em sua função adaptativa, ao fortalecer o coletivo auto-organizado. Como perspectivas, visamos o aprofundamento teórico para lapidar a ainda incipiente teoria enativa semiótica. Também almejamos o aprofundamento prático na implementação de gramáticas emergentes e ampliação do poder computacional dos modelos.

REFERÊNCIAS

- ANDLER, D. Cálculo e representação: as fontes. In: *Introdução às Ciências Cognitivas* (pp. 25-54). São Leopoldo: Ed. UNISINOS. 1998.
- ARNELLOS, A., SPYROU, T. & DARZENTAS, J. Towards a Framework that Models the Emergence of Meaning Structures in Purposeful Communication Environments. *The 47th Annual conf. of The Int. Society for the Systems Sciences (ISSS)*, 3, 103. 2003.
- ARNELLOS, A., VOSINAKIS, S., SPYROU, T. & DARZENTAS, J. The Emergence of Autonomous Representations. *Journal of Computers*, 1(6), 29-36. 2006.
- AXTELL, R. The End of the Beginning for Multi-agent Systems Social Science. In F. AMBLARD, & D. PHAN (Ed.). *Modélisation et simulation multi-agents: applications pour les Sciences de l'Homme et de la Société* (pp. 115-). Paris: Lavoisier, 2007.
- BROOKS, R. Intelligence Without Representation. *Artificial Intelligence Journal*, 47, 139-159, 1991.

- CARVALHO, L. L. *Représentations émergentes: une approche multi-agents des systèmes complexes adaptatifs en Psychologie Cognitive*. Thèse de Doctorat, Université Lumière Lyon 2, France, 2008.
- CARVALHO, L. L. A realização da mente: crítica da teoria enativa ao conceito de propriedade emergente. In TOLEDO, G. L. *et al. Debates Contemporâneos em Filosofia da Mente*. São Paulo: FiloCzar, 2018.
- DROGOUL, A. *De la simulation multi-agent à la résolution collective de problèmes*. Une étude de l'émergence de structures d'organisation dans les systèmes multi-agents. Thèse de doctorat, Université de Paris 6. 1993.
- DROGOUL, A. & FRESNEAU, D. Métaphore du fourragement et modèle d'exploitation collective de l'espace pour des colonies de robots autonomes mobiles. *JFIADSMASMA'98*. Paris, France: Hermès, 1998.
- FERBER, J. Concepts et méthodologies multi-agents. In F. Amblard, & D. Phan (Ed), *Modélisation et simulation multi-agents: applications pour les Sciences de l'Homme et de la Société* (pp. 23-48). Paris: Lavoisier, 2006.
- GOMES, A., GUDWIN, R., QUEIROZ, J. Meaningful agents: a semiotic approach. In: *International Conference on Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems (KIMAS)*, 2005, Waltham. Proceedings KIMAS 2005. Boston: IEEE Press, 2005. p. 399-404.
- HALBWACHS, M. *La mémoire collective*. Paris: Albin Michel, (1950) 1997.
- HALL, W. P. Emergence and growth of knowledge and diversity in hierarchically complex living systems. *Selection, Self-Organization and Diversity CSIRO Centre for Complex Systems Science and ARC Complex Open Systems Network*. Katoomba, NSW, Australia 17-18 May. 2006.
- HALPIN, H. Representations: The Hard Problem for Artificial Life. *Oxford Journals*, 2006. 527-535.
- HUTTO, D. D. & MYIN, E. *Radicalizing enactivism: basic minds without content*. Cambridge: MIT, 2013.
- HUTTO, D. D. & MYIN, E. *Evolving enactivism: basic minds meet content*. Cambridge: MIT, 2017.

KENNEDY, J. F., EBERHART, R. C. & SHI, Y. *Swarm Intelligence*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2001.

KULL, K., DEACON, T., EMMECHE, C., HOFFMEYER, J., STJERNFELT, F. Theses on biosemiotics: Prolegomena to a theoretical biology. *Biological Theory*, 4(2) 2009, 167–173.

JESUS, P. From enactive phenomenology to biosemiotic enactivism. *Adaptive Behavior - Animals, Animats, Software Agents, Robots, Adaptive Systems*, 24(2), 2016, pp. 130-146.

LENAY, C. Organisation émergente dans les populations: biologie, éthologie, systèmes artificiels. *Intellectica*, 19, 1994, 9-17.

LOULA, A. C. *Comunicação Simbólica Entre Criaturas Artificiais: um experimento em Vida Artificial*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

LOULA, A., GUDWIN, R. & QUEIROZ, J. Synthetic approach of symbolic creatures. *S.E.E.D. Journal -- Semiotics, Evolution, Energy, and Development*, 3(3), 2003, 125-133.

LOULA, A., GUDWIN, R. & QUEIROZ, J. Symbolic communication in artificial creatures: an experiment in Artificial Life. *Lecture Notes in Computer Science*, 3171, 2004, 336-345.

LOULA, A., GUDWIN, R., EL-HANI, C. N., QUEIROZ, J. The Emergence of Symbol-Based Communication in a Complex System of Artificial Creatures. *5th International Conference Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems KIMAS'05: Modeling, Evolution and Engineering*. Waltham, Massachusetts: IEEE, 2005.

MATURANA, H. & MPODOZIS, G. *La dérive des espèces par la voie de la sélection naturelle*. Lyon: Presses Universitaires de Lyon, 1999.

MATURANA, H. & VARELA, F. *L'arbre de la connaissance*. Paris: Addison-Wesley France, (1984) 1994.

NEWELL, A. & SIMON, H. Computer science as empirical inquiry: Symbols and search. *Communications of the Association for Computing Machinery*, 19(3), 1976, 113-126.

- PYLYSHYN, Z. W. *Computation and cognition: toward a foundation for cognitive science*. Cambridge: MIT press, 1984.
- SEARLE, J. R. Minds, brains and programs. *Behavioral and Brain Sciences*, v. 3, 1980, p. 417-424.
- SKINNER, B. F. *Contingencies of reinforcement: A theoretical analysis*. New York: York: Appleton-Century-Crofts, 1969.
- STEELS, L. Emergent Adaptive Lexicons. In: Maes, P. (ed.) *From Animals to Animats 4: Proceedings of the Fourth International Conference On Simulation of Adaptive Behavior*, The MIT Press, Cambridge Ma, 1996.
- STEELS, L. The origins of ontologies and communication conventions in Multi-Agent Systems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1(2), 1998, 169-194.
- STEELS, L. Language as a complex adaptive system. *Parallel Problem Solving from Nature -PPSN VI*. Springer, Lecture notes in Computer Science, 2000a.
- STEELS, L. The emergence of grammar in communicating autonomous robotic agents. *ECAI2000* (pp. 764-769). Amsterdam: IOS Press, 2000b.
- STEELS, L. Intelligence with representation. *Philosophical Transactions of the Royal Society, A* 361(1811), 2003, 2381-2395.
- STEELS, L., VAN TRIJP, R. & WELLENS, P. Multi-Level Selection in the Emergence of Language Systematicity. *ECAL07*(pp. 425-434). Springer, 2007.
- STEELS, L., VAN TRIJP, R. How to make construction grammars fluid and robust. In Luc Steels (Ed). *Design Patterns in Fluid Construction Grammar* (pp. 301-330). Amsterdam: John Benjamins, 2011.
- STUBER, A., HASSAS, S. & MILLE, A. Combining multiagents systems and experience reuse for assisting collective task achievement. *Proceedings of ICCBR-2003 Workshop "From structured cases to unstructured problem solving episodes for experience-based assistance*. Trondheim, Norway, 2003.

- STUBER, A., HASSAS, S. & MILLE, A. Language games for meaning negotiation between human and computer agents. *Engineering Societies in the Agents' World (ESAW 2005)*. Kusadasi, Aydin, Turkey: Springer Verlag, 2005.
- STEWART, J. R., GAPENNE, O., & DI PAOLO, E. A. *Enaction: Toward a new paradigm for cognitive science*. MIT Press, 2010.
- THOMPSON, E. *A Mente na Vida: Biologia, Fenomenologia e Ciências da Mente*. Lisboa: Instituto Piaget, 2013. Original publicado em 2007.
- TOMASELLO, M., BROOKS, P. J. Early syntactic development: A Construction Grammar approach In: Barrett, M. (ed.) *The Development of Language* (pp. 161-190). Hove, UK: Psychology Press, 1999.
- VARELA, F., THOMPSON, E., ROSCH, E. *The Embodied Mind*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.
- WELLENS, P., VAN TRIJP, R., STEELS, L., BEULS, K. Fluid Construction Grammar for Historical and Evolutionary Linguistics. *Proceedings of the 51st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Sofia, Bulgaria, 2013.
- WITTGENSTEIN, L. *Philosophical Investigations*. Malden, MA: Blackwell Publishing, (1953) 2001.