

Modelos Intermediários de Representação Mental: A Interpretação Objetual do Ambiente como Requisito para Aquisição de Linguagem Gramatical em Sistemas Artificiais

Ricardo Ribeiro Gudwin
DCA-FEEC-UNICAMP
Av. Albert Einstein 400
Campinas,SP Brasil

Resumo

Diversos estudos na literatura em criaturas artificiais tentam recriar sinteticamente processos para emergência de linguagem, muitas vezes fazendo o que se chama do “grounding” dos símbolos em sinais oriundos de sensores e atuadores. Neste trabalho, pretendemos analisar a hipótese teórica de que, para promover a associação entre sinais de sensores e atuadores a um repertório de símbolos, é necessário entretanto, a criação de uma etapa de representação intermediária, onde esses sinais sensório-motores precisam ser traduzidos no que poderíamos chamar de uma interpretação objetual do ambiente ou, em outras palavras, uma segmentação e modelagem do ambiente em termos de objetos e ações envolvendo objetos. Essa etapa de tradução seria responsável por traduzir sinais de uma ontologia sensório-motora para uma ontologia objetual. Posteriormente, uma outra tradução seria necessária para traduzir os sinais dessa ontologia objetual para uma ontologia simbólica. Nosso intuito é desenvolver essa hipótese teórica, de forma a criar protocolos e experimentos com criaturas artificiais onde o objetivo seria a emergência de linguagem gramatical.

Palavras-chave: Cognição, Evolução de Linguagem, Linguagem Gramatical

Ao longo da história da filosofia da mente e da psicologia, diversos modelos de representações mentais foram desenvolvidos. Estes modelos podem ser tão antigos como o modelo de categorias de Aristóteles, os modelos para idéias e conhecimento no *Essay* de Locke e os modelos de razão pura e aplicada de Kant. Um modelo bastante sofisticado, e ao mesmo tempo pouco conhecido fora dos círculos especializados é o modelo de Charles Sanders Peirce, filósofo norte-americano que viveu ao final do século XIX e início do século XX. Peirce foi o criador da *Semiótica*, o estudo dos processos gerais de representação e comunicação (Nöth, 1995). Ao contrário de outros modelos anteriores, o modelo de Peirce não se limita a uma mente humana, mas se propõe a representar qualquer tipo de significação e/ou representação, incluindo aí possíveis mentes artificiais. A consideração de mentes artificiais permite, ao contrário de outras teorias, a possibilidade de validação destes modelos

mentais por meio de síntese e experimentação. Neste artigo, exploraremos essa possibilidade de criar mentes artificiais de forma a compreender algumas etapas intermediárias da representação mental que muitas vezes podem passar despercebidas em uma investigação puramente analítica. Para tal, nos valeremos de experimentos envolvendo *Criaturas Artificiais* e suas correspondentes *Mentes Artificiais*, onde modelos de processos de representação mental serão sintetizados.

Dentro do âmbito das Ciências Cognitivas, toda uma área de estudos envolvendo *Criaturas Artificiais* (Balkenius, 1995) se desenvolveu, agregando de maneira multi-disciplinar diversas áreas do conhecimento, tais como a filosofia da mente, a psicologia, a inteligência artificial, a robótica e a linguística. Utilizando-se de simulações computacionais ou robôs reais, diferentes modelos mentais podem ser construídos e testados, a partir de seu uso no controle de criaturas artificiais. Neste trabalho, exploramos uma vertente destes estudos, que visa desenvolver modelos de emergência de linguagem, ou seja, desenvolver experimentos em que o resultado seja reproduzir experimentalmente a emergência de uma linguagem simbólica similar à linguagem humana.

Existem vários experimentos referentes ao desenvolvimento das relações simbólicas e sobre auto-organização e emergência de vocabulários comuns e da linguagem simples (real ou virtual). No entanto, várias questões ainda estão em aberto, especialmente no tocante a processos complexos, a condições necessárias e/ou suficientes para o surgimento de relações semióticas e a pressupostos experimentais e suas conexões com evidências teóricas e empíricas. A emergência de linguagem pode ser vista como o ápice de uma sequência de processos que começam com signos mais elementares, como os ícones e os índices, e por meio de uma sequência sucessiva de signos mais complexos chega à emergência do símbolo. Diversos estudos na literatura tentam recriar sinteticamente esses processos para emergência de linguagem, muitas vezes fazendo o que se chama do “grounding” dos símbolos em sinais oriundos de sensores e atuadores, em criaturas artificiais. As criaturas artificiais, aprendendo e usando esses sinais, comportam-se coletivamente como um sistema complexo adaptativo, onde a auto-organização das interações comunicativas desempenham um papel importante no surgimento de uma comunicação baseada em símbolos. Neste trabalho, pretendemos analisar a hipótese teórica de que, para promover a associação entre sinais de sensores e atuadores a um repertório de símbolos, é necessário entretanto, a criação de uma etapa intermediária, onde esses sinais sensório-motores precisam ser traduzidos no que poderíamos chamar de uma interpretação objetual¹ do ambiente ou, em outras palavras, uma segmentação e modelagem do ambiente em termos de objetos e ações envolvendo objetos. Essa etapa de tradução seria responsável por traduzir sinais de uma ontologia sensório-motora para uma ontologia objetual. Posteriormente, uma outra tradução seria necessária para traduzir os sinais dessa ontologia objetual para uma ontologia simbólica. Mais do que isso, para que a comunicação simbólica possa emergir em sua plenitude, como na linguagem natural humana, nossa hipótese é a de que as criaturas envolvidas deveriam ter um processo de segmentação da realidade senão idêntico, pelo menos similar entre si, dentro de uma variância controlada. Uma das limitações que as abordagens sintéticas de emergência de linguagem

¹Poderia-se utilizar aqui também o termo “objetiva”, ou seja, baseada na consideração de objetos. Entretanto, isso poderia causar confusões, devido a uma possível associação com o termo “objetivo”, significando uma meta, o que não seria adequado. Dessa forma, optou-se por utilizar o termo menos usual: “objetual”, para evitar interpretações errôneas.

atuais possuem é sua incapacidade de ir além da emergência de significado para palavras isoladas. Estudos sobre a emergência de “linguagem gramatical”, com frases completas são raros e inconclusivos. Nossa hipótese é a de que a emergência da linguagem gramatical só será possível após uma interpretação objetual da realidade pelas criaturas artificiais. Essa interpretação objetual serviria como um ícone intermediário da realidade, a ser posteriormente desenvolvido para a emergência de símbolos dicentes (frases completas) e argumentos (raciocínios). Nosso intuito, neste trabalho, é desenvolver essa hipótese teórica, de forma a criar protocolos e experimentos com criaturas artificiais onde o objetivo seria a emergência de linguagem gramatical.

Contextualização

A área de pesquisa em simulação de emergência de linguagem (Cangelosi & Parisi, 2001) vem atraindo muitos pesquisadores nos últimos 20 anos. Encontramos na literatura desde artigos tratando de aspectos mais genéricos sobre evolução de linguagem (MacLennan, 1992; Werner & Dyer, 1992; MacLennan & Burghardt, 1993; Parisi, 1997; Cangelosi & Parisi, 1998; Steels, 1998, 1999a; Tonkes, 2001; Nowak & Komarova, 2001; Cangelosi, 2001; Cangelosi & Parisi, 2001; Perfors, 2002; Christiansen & Kirby, 2003), a artigos mais especializados, por exemplo, que interpretam a evolução de linguagem como um sistema complexo adaptativo (T. Briscoe, 1998; Steels, 2000). Dois tipos de abordagem podem ser encontradas. A primeira, onde se tenta associar significado a palavras isoladas (Hutchins & Hazlehurst, 1995; Oliphant & Batali, 1997; Oudeyer, 1999; Steels, 1999b; Jung & Zelinsky, 2000; Roy, 2002; Vogt & Coumans, 2002). A segunda, onde se tenta explorar o aspecto gramatical da linguagem (Batali, 1998; E. J. Briscoe, 1999; Kirby, 1999, 2000, 2002; Chang, 2009). De uma maneira sintética, todos esses estudos visam estabelecer o modo de desenvolvimento das relações simbólicas a partir da interação com o ambiente. Para tanto, se servem do conceito de auto-organização para justificar a emergência de vocabulários em criaturas artificiais.

Entretanto, há ainda várias questões em aberto. A primeira delas diz respeito à relação entre a Emergência de Linguagem e o estudo de Processos Complexos. Será que poderíamos classificar a emergência de linguagem como um processo complexo (Rosen, 1985) ?

Outra questão em aberto diz respeito às condições necessárias e/ou suficientes para o surgimento de relações semióticas entre criaturas artificiais e seu ambiente. Como essas relações semióticas surgem ? Quais as condições que seriam necessárias para essas relações pudessem surgir ? Será que existiriam condições suficientes para garantir esse surgimento ? Muitos experimentos são desenvolvidos de maneira *ad-hoc*, sem maiores explicações sobre os pressupostos experimentais utilizados para conceber estes experimentos. Tem-se uma idéia e busca-se testar se essa idéia “funciona”. Em um trabalho anterior (Loula, Gudwin, Ribeiro, & Queiroz, 2010) já havíamos alertado sobre a necessidade de explicitar os pressupostos experimentais em pesquisas desta natureza, bem como caracterizar as conexões desses pressupostos experimentais com evidências teóricas (teorias sobre o fenômeno da representação) e empíricas (experimentos com animais e seres humanos).

Particularmente, neste trabalho, exploraremos a teoria semiótica de Charles Sanders Peirce, como pressuposto teórico orientando nossas especulações. A Teoria Semiótica de Peirce pressupõe que o elemento fundamental em todo processo de representação é o assim chamado *Signo*. Observe que a definição de Signo para Peirce é bastante peculiar. Peirce define um signo como “algo que se relaciona de algum modo com alguma coisa, chamada de

seu *objeto*, tendo o poder de gerar um terceiro elemento, chamado de seu *interpretante*". Mas, de acordo com Peirce, esse *interpretante* deve também ser um signo, ou seja, deve possuir também esse poder de gerar novos interpretantes. O que garante esse poder ao signo, é sua relação com seu objeto ². Essa relação, segundo Peirce, pode ser de três naturezas. Pode ser uma relação de similaridade, quando então esse signo será chamado de um *ícone*. Pode ser uma relação espaço-temporal, quando o signo será chamado de um *índice*. E pode ainda ser uma relação totalmente arbitrária, quando o signo será chamado de um *símbolo*. Na verdade, Peirce elabora uma tipologia de signos que é bem mais complexa do que estes três tipos de signos³. Em nosso caso, utilizaremos somente esta tipologia simplificada, que é suficiente para desenvolver nosso argumento.

Por fim, um último tópico que nos permite contextualizar nosso argumento é o tópico da fundamentação do símbolo (*Grounding*). O assim chamado problema da fundamentação do símbolo (*Symbol Grounding Problem*) foi estruturado por Harnad (Harnad, 1990) em 1990 e posteriormente investigado por outros trabalhos (Prem, 1994; Sun, 1999; Ziemke, 1999; Cangelosi, Greco, & Harnad, 2002; Vogt, 2002). De maneira bastante sumária, como estamos falando de Linguagem, e de sua relação com o ambiente (ou a *Realidade*, se assim desejarmos, pois a linguagem não se refere somente ao ambiente) a questão do *Grounding* diz respeito a como estabelecer uma relação entre os símbolos utilizados em uma linguagem e seu significado no mundo real. Diversos trabalhos focam nesta questão do *Grounding*, visando a emergência de linguagem (Harnad, 1993; Dorffner, Prem, & Trost, 1993; Prem, 1995; Thompson, 1997; Glenberg & Robertson, 2000).

Com as principais referências nos diversos tópicos que fundamentam nossa proposta, podemos então iniciar sua descrição.

Construção da Proposta

Como já dissemos anteriormente na introdução, existem diversos trabalhos na literatura tentando modelar o processo de emergência de linguagem por meio de simulações computacionais. Até o momento, pode-se depreender um sucesso relativo nestas pesquisas. Se existem diversos relatos de sucesso no desenvolvimento de sistemas artificiais capazes de evoluir o uso de palavras isoladas por criaturas artificiais situadas em um ambiente, este sucesso não tem sido igualmente verdadeiro com relação à evolução de linguagens gramaticais, ou seja, o uso de frases constituídas por palavras de diferentes categorias (substantivos, verbos, adjetivos, etc.). Talvez, uma das razões para esse aparente insucesso esteja relacionado às recentes evidências de que possuímos na verdade dois sistemas linguísticos independentes em nosso cérebro (Ardila, 2011), um deles responsável pelas competências léxico-semânticas e outro responsável pela competência gramatical. Como a competência gramatical vem sendo tratada até agora como uma evolução natural e continuada do sistema léxico-semântico, e não como todo um sistema a parte, talvez isso explique os insucessos obtidos até então. Nossa hipótese, ainda, é a de que esse relativo insucesso em criar modelos capazes de sintetizar a evolução da linguagem gramatical está relacionado a certas premissas teóricas de natureza semiótica que os atuais modelos adotam de maneira implícita.

²Na verdade essa definição é uma adaptação do autor deste artigo, das mais de 76 definições de signo que Peirce apresenta em sua obra (Peirce, 1997).

³Em uma de suas tipologias (a mais famosa), Peirce discrimina entre 10 tipos de signos. Em outra tipologia, discrimina dentre 66 tipos de signos (Burch, 2011)

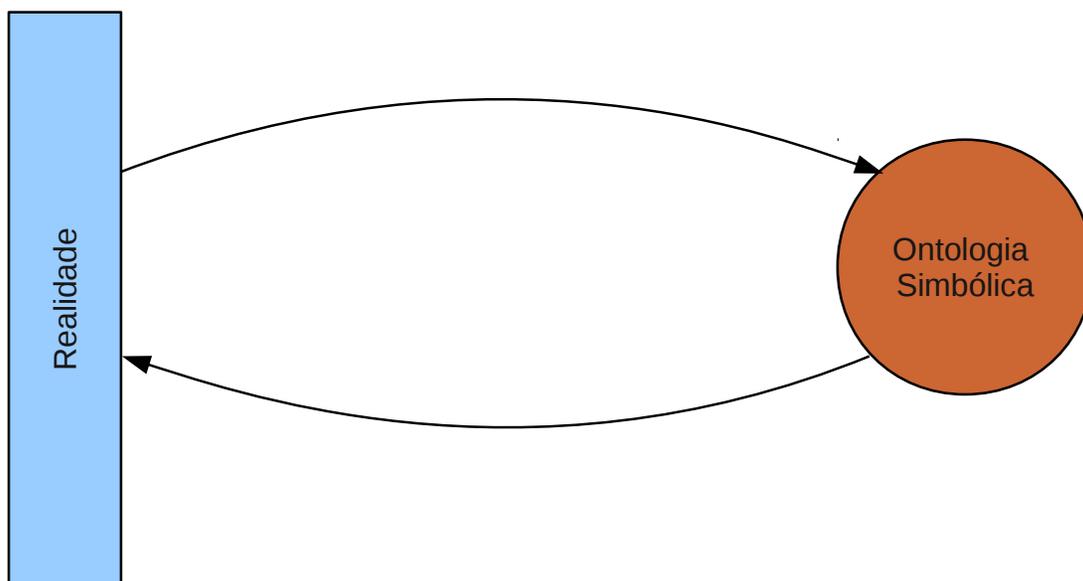


Figura 1. Modelo Original para o Grounding de Símbolos

Vamos analisar esta questão. O modelo original de *Grounding* seria algo como o que pode ser visto na figura 1. Os elementos de uma ontologia simbólica são diretamente mapeados na realidade. Esse modelo, entretanto, é infactível de síntese, de uma maneira prática, pois não temos acesso direto aos elementos da realidade. Na verdade, nosso acesso à realidade é sempre realizado por meio de sensores e atuadores. A solução para modelar o *grounding* passa pela consideração de uma associação indireta dos símbolos com a realidade, tendo como intermediários os sinais oriundos de sensores e atuadores da criatura artificial. Essa abordagem pode ser sumarizada na figura 2. A criatura manuseia basicamente dois tipos de repertórios de representações. O primeiro tipo de representação inclui os sinais obtidos dos sensores e atuadores da criatura, constituindo o que estamos chamando aqui de uma ontologia sensório-motora. O segundo repertório inclui os termos da linguagem, constituindo o que chamamos aqui de uma ontologia simbólica. À medida que os elementos da ontologia simbólica podem ser associados aos elementos da ontologia sensório-motora, temos o *grounding* destes símbolos. Esta é a abordagem usual encontrada nos diversos trabalhos sobre emergência de linguagem.

Mas vamos fazer uma análise semiótica desta questão, tomando como base a semiótica de Peirce. De acordo com a semiótica de Peirce, todo e qualquer tipo de representação pode ser unificado no conceito de signo. O que acontece é que esses signos podem ser de diferentes classes. Dessa forma, os termos da ontologia sensório-motora e os termos da ontologia simbólica não são entidades que habitam mundos completamente distintos, mas são ambos signos, só que de diferentes naturezas. Por exemplo, os termos da ontologia sensório-motora podem ser considerados ícones, pois guardam em si as mesmas qualidades que os elementos da realidade que representam e os termos da ontologia simbólica são símbolos, pois possuem uma relação completamente arbitrária com os elementos da realidade que representam. Assim, o conceito de *grounding*, como um mapeamento entre símbolos e a

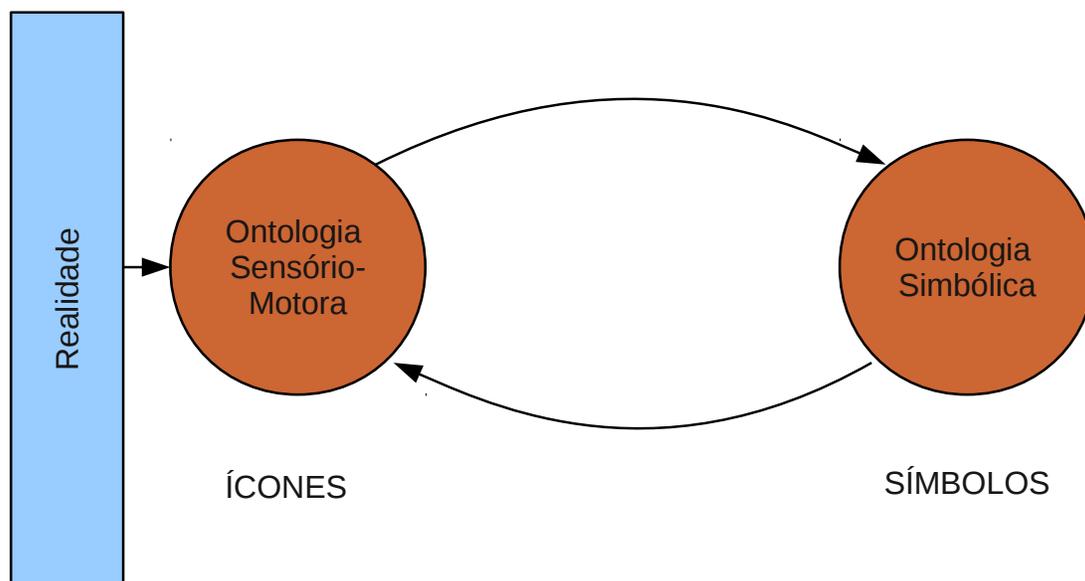


Figura 2. Abordagem Padrão para o Grounding de Símbolos

realidade pode ser redefinido no conceito de *interpretação*, oriundo da semiótica de Peirce. De acordo com Peirce, o símbolo não é uma entidade totalmente distinta, mas o ápice de uma sequência de processos de interpretação, que começam com signos mais elementares, como os ícones e os índices, e por meio de uma sequência sucessiva de interpretações de signos mais complexos chega à emergência do símbolo. Assim, o pensamento pode ser descrito como uma cadeia de interpretações, onde signos de um tipo são transformados (traduzidos) em signos de outros tipos. E é com essa idéia em mente que podemos agora criticar o modelo expresso na figura 2.

Será que é possível sempre fazermos uma interpretação *direta* de um elemento de uma ontologia simbólica em um elemento de uma ontologia sensório-motora? Certamente que em alguns casos isso é possível. Tanto é, que os relatos na literatura envolvendo o uso de palavras isoladas trazem diversos exemplos de sucesso neste sentido. Entretanto, cabe aqui lembrar as evidências de (Ardila, 2011), de que possuímos na realidade dois sistemas linguísticos independentes. Aparentemente, o sistema léxico-semântico está modelado de maneira viável, mas ainda não temos um modelo adequado para o sistema gramatical. Desta forma, poderiam haver casos em que uma interpretação direta de uma ontologia simbólica em uma ontologia sensório-motora não seriam factíveis.

E qual seria uma possível solução para esse problema? Nossa proposta é a de que para símbolos gramaticais (frases com substantivos, verbos, adjetivos, etc.) serem traduzidos em elementos de uma ontologia sensório-motora, seria necessário antes uma tradução intermediária em um tipo de ontologia que chamamos aqui de ontologia objetual. Essa proposta pode ser esquematizada na figura 3. Nesta proposta, deveria haver um tipo de representação intermediária entre os símbolos e os ícones da representação sensório-motora. Ao contrário dos signos da ontologia sensório-motora, que representam a realidade em termos dos sinais que podem ser mensurados de sensores e atuadores, essa ontologia objetual

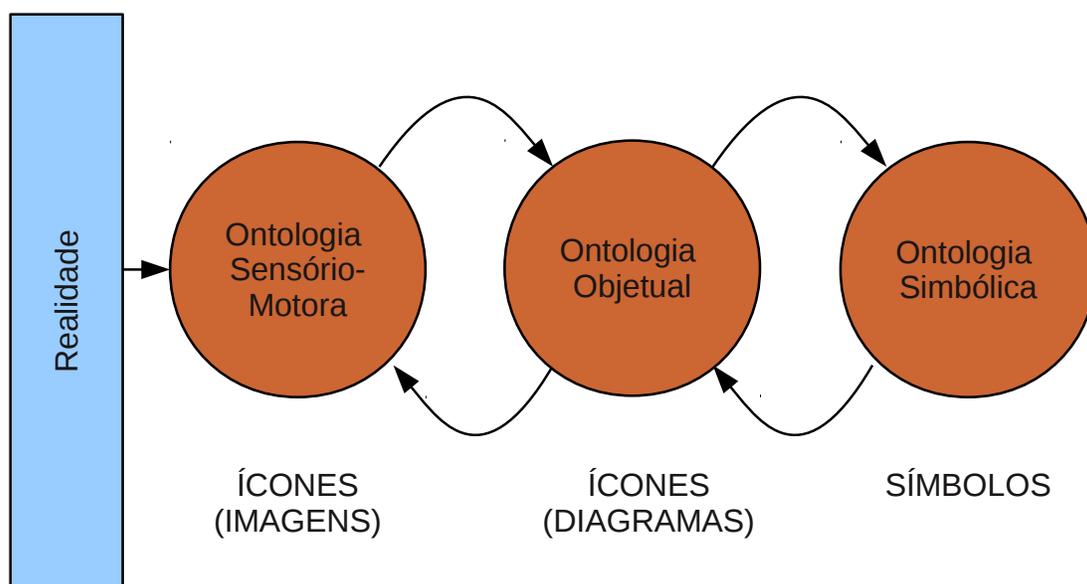


Figura 3. Proposta Alternativa para o Grounding de Símbolos

representaria o mundo como uma coleção de objetos, que podem ter seus atributos modificados e suas *affordances* executadas durante o transcorrer do tempo. Observe que esses signos da ontologia objetual nada mais são do que uma tradução dos signos da ontologia sensório-motora, mas em um nível de abstração mais alto. Nossa hipótese é a de que esses signos seriam também ícones. Peirce distingue três tipos diferentes de ícones: imagens, diagramas e metáforas. Nossa suposição é a de que esses ícones da ontologia objetual seriam de uma natureza distinta dos ícones da ontologia sensório-motora. Enquanto os ícones da ontologia sensório-motora seriam *imagens*, os ícones da ontologia objetual seriam *diagramas*. Peirce define um diagrama como um ícone de relações (4.418), ou seja, um signo que representa por meio da relação entre suas próprias partes, relações análogas que ocorrem em seu objeto (2.277). O objeto deste signo seria aquilo que podemos entender por uma *cena*, um fragmento espaço-temporal da realidade, que para nossos propósitos pode ser representado por um conjunto de objetos descrevendo uma determinada trajetória em seu espaço de atributos. Nossa hipótese é a de que, para que a interpretação de signos da ontologia simbólica seja possível, em termos de signos da ontologia sensório motora, é necessária uma etapa intermediária, em que esses signos da ontologia simbólica sejam inicialmente traduzidos em signos da ontologia objetual, e somente depois desta interpretação é que seria possível uma segunda tradução em termos de signos da ontologia sensório-motora. O grande diferencial desta abordagem é que uma cena, descrita em termos de um conjunto de símbolos (uma frase), precisaria ser inicialmente traduzida por uma coreografia de objetos (conjunto de objetos que possuem seus atributos seguindo uma trajetória temporal), para em um segundo momento esta coreografia de objetos poder ser re-traduzida em um conjunto de sensações e atuações. Podemos entender essa etapa intermediária de tradução como uma segmentação da realidade em termos de uma coreografia de objetos. Essa coreografia seria descrita em termos de um conjunto de objetos e ações envolvendo esses objetos no espaço-tempo.

O processo de segmentação da realidade, seguiria portanto a seguinte etapa:

- Realidade → Ontologia Sensório-Motora
- Ontologia Sensório-Motora → Ontologia Objetual
- Ontologia Objetual → Ontologia Simbólica

Ou seja, inicialmente, os sensores e atuadores fariam uma primeira tradução da realidade, gerando signos da ontologia sensório-motora (sinais sensorias e motores). Em seguida, esses signos da ontologia sensório-motora seriam traduzidos em signos da ontologia objetual (objetos e trajetórias temporais nos atributos dos objetos). Por final, os diferentes elementos da ontologia objetual poderiam ser traduzidos em termos linguísticos, gerando signos da ontologia simbólica compostos, tais como sentenças e frases.

Seguindo a trajetória inversa, de interpretação de signos da ontologia simbólica, teríamos:

- Ontologia Simbólica → Ontologia Objetual
- Ontologia Objetual → Ontologia Sensório-Motora
- Ontologia Sensório-Motora → Realidade

Frases compostas por termos de uma ontologia simbólica seriam inicialmente traduzidos em termos de signos de uma ontologia objetual. Esses signos seriam posteriormente traduzidos em termos de uma ontologia sensório-motora, que estariam em uma relação de tradução direta com a realidade por meio de sensores e atuadores.

Evidências de Suporte à Proposta

A proposta apresentada na seção anterior, de um nível alternativo intermediário de representação mental, é certamente, a este ponto, uma mera especulação. Entretanto, existem algumas evidências neuro-cognitivas que a sustentam (Baars & Gage, 2010). Em primeiro lugar, diversas áreas cerebrais são mapeadas em termos de elementos que constituem a base de uma ontologia objetual. Por exemplo, à área LOC (Lateral Occipital Complex), é imputada o reconhecimento de objetos. A área FFA (Face Fusiform Area) é dita ser a responsável pelo reconhecimento de faces. A área PPA (Parahippocampal Place Area) é associada com o reconhecimento de casas, cenas de ambientes, landmarks, etc. A área MT (Middle Temporal) estaria relacionada ao reconhecimento de movimento. Além disso, é bastante comum se referir aos chamados caminhos dorsais e ventrais como *Caminhos QUE e ONDE*, pelo fato de identificarem em uma cena quais são os objetos participantes e onde os mesmos se localizam. Desta forma, existem indícios suficientes na neuro-ciência, para sugerir que de fato existe uma etapa intermediária onde signos de uma ontologia objetual são criados no cérebro, dando suporte a nossa proposta.

Protocolos e Experimentos com Criaturas Artificiais

A pesquisa em criaturas artificiais pode ser normalmente sub-dividida em duas sub-áreas. A primeira, mais direcionada para a construção de criaturas robóticas no mundo real, está normalmente direcionada a problemas mais pragmáticos relacionados ao mundo real, tais como a tipos de motores, sistemas de comando e acionamento de motores e controle de juntas, interferência a ruídos, tipos de sensores e atuadores e problemas de visão artificial. A outra, mais direcionada a criaturas virtuais, está mais direcionada à geração de estratégias, algoritmos gerais, questões relacionadas à complexidade e técnicas cognitivas de controle

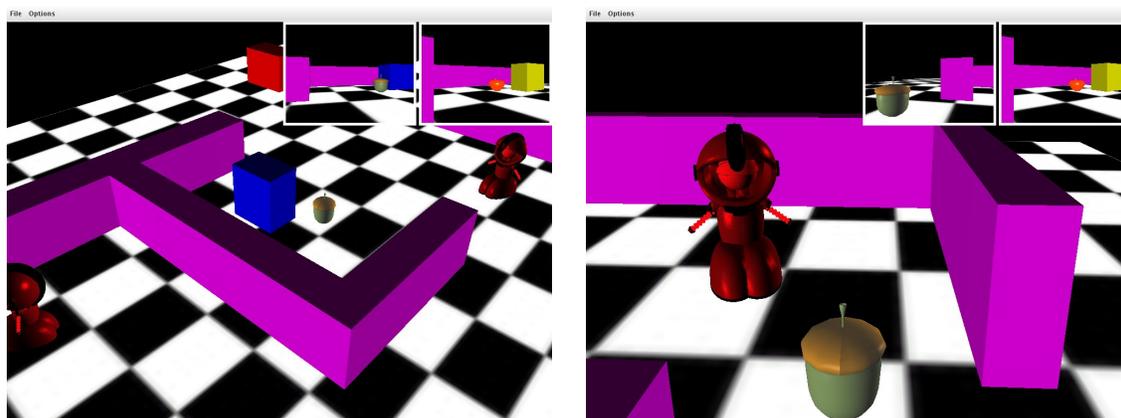


Figura 4. Exemplos de Experimentos com Criaturas Artificiais Virtuais

das criaturas. Dentro desta segunda sub-área, toda uma área de pesquisas, intitulada de *Sistemas Cognitivos* (Christensen, Sloman, Kruijff, & Wyatt, 2009) foi criada para lidar especificamente com estas idéias. Um conceito importante dentro da pesquisa em sistemas cognitivos é o de *Arquiteturas Cognitivas* (Langley & Laird, 2009; Franklin, Kelemen, & McCauley, 1998).

Uma arquitetura cognitiva é usualmente um sistema de controle de uma criatura artificial, sendo constituído por módulos responsáveis pela implementação de capacidades cognitivas na criatura artificial. Arquiteturas cognitivas são inspiradas principalmente em habilidades neuro-cognitivas e psicológicas da mente humanas, onde tarefas cognitivas típicas, tais como percepção, aprendizagem, memória, emoções, raciocínio, tomada de decisão, comportamento, linguagem, consciência, etc. são de algum modo usadas como fonte de inspiração para incrementar as capacidades de criaturas artificiais.

Apesar de alguns pesquisadores trabalhando com evolução de linguagem utilizarem-se de robôs para perpetrar seus experimentos (e.g. (Steels, 1999b)), a grande maioria dos trabalhos se serve de criaturas virtuais em seus experimentos.

Um exemplo de experimento com criaturas artificiais virtuais pode ser visualizado na figura 4.

Dada nossa proposta de modelo intermediário de representação mental, baseada em uma ontologia objetual, o próximo passo é desenvolver protocolos experimentais que permitam investigar se essa proposta de fato é adequada para o objetivo que se almeja, ou seja, a evolução de linguagem gramatical em criaturas artificiais. Para tanto, o primeiro passo é tentar desenvolver estruturas de representação para os signos da ontologia objetual, de tal forma que estes signos objetuais possam ser implementados computacionalmente.

A estrutura elementar, neste caso, é o conceito de objeto. O modelo para um objeto pode ser derivado do estudo dos sistemas orientados a objeto, em computação. Desta forma, um objeto pode ser modelado por um conjunto de atributos, um conjunto de *affordances* e um conjunto de partes. O conceito de *affordance* foi introduzido por Gibson, em (Gibson, 1979). De acordo com Gibson, o conjunto de *affordances* de um ambiente está relacionado ao que um ambiente oferece ou provê a este agente. Em outras palavras, *affordances* são as “possibilidades de ação” latentes a um ambiente, ou ainda, características dos objetos

de um ambiente que permitem ao agente realizar uma ação sobre estes. Desta forma, as “affordances” de um objeto são as ações que podem ser realizadas pela criatura artificial com este objeto. Por fim, o conceito de *partes* permite dar à definição de objetos uma característica hierárquica. Assim, objetos podem ter partes, que também são objetos, e portanto também podem possuir partes e assim por diante, criando uma hierarquia de partes que permite modelar objetos de razoável complexidade.

Uma segunda estrutura importante em uma ontologia objetiva é o conceito de *cena*. Uma cena corresponde a uma coreografia de objetos, ou seja, mudanças nos atributos e/ou partes dos objetos ao longo de intervalos de tempo. Ao contrário da estrutura para objetos, a estrutura para *cena* não possui ainda um formato canônico. Isso acontece, pois a mudança temporal nos atributos e partes dos objetos pode ser modelada de diferentes modos, com diferentes requintes de detalhamento. Propostas alternativas para a modelagem de cenas poderão surgir, fazendo com que o modelo se sofisticue, à medida que os experimentos venham a ficar mais sofisticados. O que orientará o desenvolvimento destes formatos serão os procedimentos de tradução entre a ontologia sensório-motora e a ontologia objetual, e entre a ontologia objetual e a ontologia simbólica.

De uma certa forma, a tradução entre a ontologia sensório-motora e a ontologia objetual (e vice versa) corresponde a um tópico de pesquisa que já apresenta diversas contribuições, principalmente nas áreas de reconhecimento de padrões e visão computacional. Já a tradução entre signos da ontologia objetiva e a ontologia simbólica corresponde a um tópico de pesquisa menos estudado.

Vamos focar um pouco mais neste processo de tradução em especial. Observa-se que os objetos da ontologia objetual podem ser mapeados diretamente nos termos substantivos de uma ontologia simbólica. Da mesma forma, os adjetivos de uma ontologia simbólica podem ser mapeados nos atributos dos objetos. Os verbos de uma ontologia simbólica podem ser mapeados, de alguma forma, nas modificações dos atributos dos objetos. Supondo uma ontologia simbólica que possua somente substantivos, adjetivos e verbos, poderíamos criar procedimentos computacionais para mapear os termos de uma ontologia simbólica nos termos de uma ontologia objetual, pelo menos para frases que envolvessem somente substantivos, verbos e adjetivos. A inclusão de outros tipos de signos simbólicos, tais como preposições, advérbios, artigos demandariam outros tipos de descrições de cenas, em que tais tipos de signos simbólicos pudessem ser modelados. Estima-se que estes poderiam ser considerados em trabalhos futuros.

De um modo geral, utilizando-se estas representações para os signos da ontologia objetual, poderíamos especular que os dois mapeamentos:

- Ontologia Simbólica \rightarrow Ontologia Objetual
- Ontologia Objetual \rightarrow Ontologia Simbólica

poderiam ser implementados, detalhando-se os procedimentos sugeridos acima. Caberá a um trabalho futuro desenvolver um formalismo para explicitar esses procedimentos de tradução.

De uma maneira geral, o desenvolvimento da presente teoria demandará o estabelecimento de protocolos experimentais mais formais para a especificação de experimentos computacionais onde essas traduções possam ser testadas e validadas. O desenvolvimento destes protocolos são portanto o passo seguinte no desenvolvimento desta pesquisa. Os resultados deste desenvolvimento serão reportados em trabalhos futuros.

Conclusões

Neste trabalho, mostrou-se que uma série de pesquisas envolvendo a evolução de linguagem em criaturas artificiais apresentam deficiências em desenvolver experimentos onde uma linguagem gramatical possa emergir. Especulou-se, a seguir, que essa deficiência poderia ser resultado de um compromisso teórico com certas premissas, que somente uma análise semiótica dos processos sendo desempenhados poderia evidenciar. De maneira mais objetiva, identificou-se que a falha nos experimentos atuais estaria em desconsiderar um conjunto intermediário de representações mentais, que são cotidianamente utilizadas por seres humanos em seu pensamento, mas que não estão sendo considerados nos experimentos sendo realizados. Esse conjunto intermediário de representações mentais foi chamado de uma “ontologia objetual”, ou seja a segmentação da realidade e sua caracterização como uma coreografia de objetos. Essa ontologia objetual consistiria em um tipo mais elaborado de ícone, chamado de *diagrama*, sendo fundamental para que o mapeamento com uma ontologia simbólica pudesse ser efetuado. Considerou-se que, além das evidências neuro-cognitivas já apontadas, seria interessante que experimentos envolvendo criaturas artificiais fossem desenvolvidos para reforçar essa hipótese de que uma ontologia objetual seria de grande importância para a emergência de linguagem gramatical. Resultados definitivos ainda precisam ser desenvolvidos para corroborar a hipótese apresentada, que por enquanto constitui-se apenas de uma especulação, que orienta uma possível linha de pesquisa na área de evolução de linguagem em criaturas artificiais. Apresentou-se diversos elementos descrevendo como modelos computacionais poderiam ser desenvolvidos para corroborar esta hipótese. Entretanto, somente experimentos futuros poderão dizer se a hipótese é realmente válida, e/ou talvez apontar incorreções na presente proposta.

Referências

- Ardila, A. (2011, May). There are two different language systems in the brain. *Journal of Behavioral and Brain Science*, 1(2), 23–36. Available from <http://dx.doi.org/10.4236/jbbs.2011.12005>
- Baars, B., & Gage, N. (2010). *Cognition, brain, and consciousness: Introduction to cognitive neuroscience*. Academic Press/Elsevier. Available from <http://books.google.com/books?id=1EDyN5-80E8C>
- Balkenius, C. (1995). *Natural intelligence in artificial creatures*. Lund Univ. Cognitive Studies 37.
- Batali, J. (1998). Computational simulations of the emergence of grammar. In J. R. Hurford, M. Studdert-Kennedy, & C. Knight (Eds.), *Approaches to the evolution of language - social and cognitive bases*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Briscoe, E. J. (1999). The acquisition of grammar in an evolving population of language agents. *Electronic Transactions on Artificial Intelligence*, 3, 47-77. (Section B: Selected Articles from the Machine Intelligence 16 Workshop)
- Briscoe, T. (1998). Language as a complex adaptive system: Coevolution of language and of the language acquisition device. In VAN HALTEREN, H. et al (Ed.), *8th meeting of computational linguistics in the netherlands conference* (p. 3-40).
- Burch, R. W. (2011, Apr 01). Peirce’s 10, 28, and 66 sign-types: the simplest mathematics.(report). *Semiotica: Journal of the International Association for Semiotic Studies*(184), 93(6). (Magazine/Journal)
- Cangelosi, A. (2001). Evolution of communication and language using signals, symbols, and words. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 5(2), 93-101.

- Cangelosi, A., Greco, A., & Harnad, S. (2002). Symbol grounding and the symbolic theft hypothesis. In A. Cangelosi & D. Parisi (Eds.), *Simulating the evolution of language*. (chap. 9). London: Springer.
- Cangelosi, A., & Parisi, D. (1998). The emergence of a language in an evolving population of neural networks. *Connection Science*, 10(2), 83-97.
- Cangelosi, A., & Parisi, D. (2001). Computer Simulation: A New Scientific Approach to the Study of Language Evolution. In A. Cangelosi & D. Parisi (Eds.), *Simulating the evolution of language* (p. 3-28). London: Springer Verlag.
- Chang, N. C. L. (2009). Constructing grammar : A computational model of the emergence of early constructions. *Unpublished Doctoral Dissertation University of California Berkeley*, 243. Available from <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2009/EECS-2009-24.pdf>
- Christensen, H., Sloman, A., Kruijff, G.-J., & Wyatt, J. (Eds.). (2009). *Cognitive systems*. EU FP6 CoSy.
- Christiansen, M. H., & Kirby, S. (2003, Julho). Language evolution: consensus and controversies. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(7), 300-307.
- Dorffner, G., Prem, E., & Trost, H. (1993). *Words, symbols, and symbol grounding*. Wien: Österreichisches Forschungsinstitut für Artificial Intelligence. (TR-93-30)
- Franklin, S., Kelemen, A., & McCauley, L. (1998, October). Ida: a cognitive agent architecture. In *Ieee conference on systems*. (Vol. 3, p. 2646-2651).
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Houghton Mifflin, New York.
- Glenberg, A., & Robertson, D. (2000). Symbol grounding and meaning: A comparison of high-dimensional and embodied theories of meaning. *Journal of Memory and Language*, 43, 379-401.
- Harnad, S. (1990). The symbol grounding problem. *Physica D*, 42, 335-346.
- Harnad, S. (1993). Symbol grounding is an empirical problem: Neural nets are just a candidate component. In *Anais...* New Jersey, USA: Erlbaum.
- Hutchins, E., & Hazlehurst, B. (1995). How to invent a lexicon: the development of shared symbols in interaction. In G. N. Gilbert & R. Conte (Eds.), *Artificial societies: the computer simulation of social life*. London: UCL Press.
- Jung, D., & Zelinsky, A. (2000). Grounded symbolic communication between heterogeneous cooperating robots. *Autonomous Robots journal, special issue on Heterogeneous Multi-robot Systems*, 8(3), 269-292.
- Kirby, S. (1999). Learning, bottlenecks and infinity: a working model of the evolution of syntactic communication. In K. Dautenhahn & C. Nehaniv (Eds.), *The aish'99 symposium on imitation in animals and artifacts* (p. 55-63). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kirby, S. (2000). Syntax without natural selection: How compositionality emerges from vocabulary in a population of learners. In C. Knight (Ed.), *The evolutionary emergence of language: Social function and the origins of linguistic form* (p. 303-323). Cambridge, Mass.: Cambridge University Press.
- Kirby, S. (2002). Learning, bottlenecks and the evolution of recursive syntax. In T. Briscoe (Ed.), *Linguistic evolution through language acquisition: Formal and computational models* (chap. 6). Cambridge, Mass.: Cambridge University Press.
- Langley, P., & Laird, J. (2009, June). Cognitive architectures: Research issues and challenges. *Cognitive Systems Research*, 10(2), 141-160.
- Loula, A., Gudwin, R., Ribeiro, S., & Queiroz, J. (2010). On building meaning: A biologically-inspired experiment on symbol-based communication. In A. Hussain, I. Aleksander, L. S. Smith, A. Kardec Barros, R. Chrisley, & V. Cutsuridis (Eds.), *Brain inspired cognitive systems 2008* (Vol. 657, p. 77-93). Springer New York. Available from http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-79100-5_5 (10.1007/978-0-387-79100-5_5)
- MacLennan, B. (1992). Synthetic ethology: An approach to the study of communication. In C. Langton, C. Taylor, D. Farmer, & S. Rasmussen (Eds.), *Artificial life ii: The second*

- workshop on the synthesis and simulation of living systems* (p. 631-658). Redwood City, CA: Addison-Wesley.
- MacLennan, B., & Burghardt, G. (1993). Synthetic ethology and the evolution of cooperative communication. *Adaptive Behavior*, 2(2), 161-187.
- Nöth, W. (1995). *Handbook of semiotics*. Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press.
- Nowak, M. A., & Komarova, N. L. (2001, Julho). Towards an evolutionary theory of language. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(7), 288-295.
- Oliphant, M., & Batali, J. (1997). Learning and the emergence of coordinated communication. *The newsletter of the Center for Research in Language*, 11(1).
- Oudeyer, P.-Y. (1999). Self-organization of a lexicon in a structured society of agents. In D. Floreano, J.-D. Nicoud, & F. Mondada (Eds.), *Ecal99* (p. 726-729). Berlin: Springer-Verlag. (Lecture Notes in Artificial Intelligence 1674)
- Parisi, D. (1997). An artificial life approach to language. *Brain and Language*, 59(1), 121-146.
- Peirce, C. S. (1997). *76 Definitions of The Sign by C. S. Peirce*. Documento Eletrônico em HTML. Available from <http://www.cspeirce.com/menu/library/rsources/76defs/76defs.htm>
- Perfors, A. (2002). Simulated evolution of language: a review of the field. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 5(2).
- Prem, E. (1994). *Symbol grounding revisited*. Relatório Técnico. Wien: Österreichisches Forschungsinstitut für Artificial Intelligence. (TR-94-19)
- Prem, E. (1995, Junho). Dynamic symbol grounding, state construction and the problem of teleology. In J. Mira & F. Sandoval (Eds.), *From natural to artificial neural computation, proc. international workshop on artificial neural networks*. London: Springer. (LNCS 930)
- Rosen, R. (1985). *Anticipatory systems: Philosophical, mathematical and methodological foundations* (Vol. 1). Oxford, England: Pergamon Press. (IFSR International Series on Systems Science and Engineering)
- Roy, D. (2002). Learning visually grounded words and syntax of natural spoken language. *Evolution of Communication*, 4(1), 33-56.
- Steels, L. (1998). Synthesising the origins of language and meaning using co-evolution, self-organisation and level formation. In J. Hurford, C. Knight, & M. Studdert-Kennedy (Eds.), *Approaches to the evolution of language - social and cognitive bases*. Edinburgh University Press.
- Steels, L. (1999a). The puzzle of language evolution. *Kognitionswissenschaft*, 8(4).
- Steels, L. (1999b). *The talking heads experiment: Volume i. words and meanings*. Bruxelas, Bélgica: VUB Artificial Intelligence Laboratory. (Pré-edição especial para LABORATORIUM, Antwerpen 1999)
- Steels, L. (2000, September). Language as a complex adaptive system. In M. Schoenauer (Ed.), *Proceedings of ppsn vi*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Sun, R. (1999). Symbol grounding: A new look at an old idea. *Philosophical Psychology*, 13(2), 149-172.
- Thompson, E. (1997). Symbol grounding: A bridge from artificial life to artificial intelligence. *Brain and Cognition*, 34, 48-71.
- Tonkes, B. (2001). *On the origins of linguistic structure: Computational models of the evolution of language*. Unpublished doctoral dissertation, University of Queensland, School of Information Technology and Electrical Engineering.
- Vogt, P. (2002). The physical symbol grounding problem. *Cognitive Systems Research*, 3(3), 429-457.
- Vogt, P., & Coumans, H. (2002). Exploring the impact of contextual input on the evolution of word-meaning. In J. H. G. H. B. Hallam D. Floreano & J.-A. Meyer (Eds.), *Sab02*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Werner, G., & Dyer, M. (1992). Evolution of communication in artificial organisms. In C. Langton,

- C. Taylor, D. Farmer, & S. Rasmussen (Eds.), *Proceedings of artificial life ii* (p. 659-687). Redwood City, CA: Addison-Wesley Pub.
- Ziemke, T. (1999). Rethinking grounding. In A. Riegler, M. Peschl, & A. von Stein (Eds.), *Understanding representation in the cognitive sciences*. New York: Plenum Press.