

# UMA PROPOSTA DE MODELO COMPUTACIONAL PARA SIMULAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA LINGUAGEM

Daniel Antônio Garcia Costa Carvalho

Faculdade de Engenharia Elétrica – Pós-Graduação

UNICAMP

[danielxgarcia@gmail.com](mailto:danielxgarcia@gmail.com)

## RESUMO

*Este artigo propõe um modelo computacional para a simulação e estudo da evolução da linguagem, utilizando para isso técnicas de modelagem computacional e tecnologias difundidas no meio acadêmico. A base teórica para o modelo computacional é proveniente do Modelo de Aprendizagem Iterativo, que provê um “framework” para a modelagem da evolução da linguagem.*

*Palavras-Chave: Evolução da Linguagem, Modelo Iterativo de Aprendizado, Simulação Computacional, Arquitetura Cognitiva, Sistemas Multi-Agentes.*

## INTRODUÇÃO

A Evolução da Linguagem Humana é objeto de estudo de muitos pesquisadores provenientes de diversas disciplinas, notadamente das disciplinas correlacionadas com a ciência cognitiva. Assumindo o ponto de vista que a linguagem é o elemento fundamental nas relações humanas, é totalmente compreensivo que o seu estudo deve seguir um modelo de pesquisa mais horizontal, ou seja, interdisciplinar. E para entender sua evolução, a contribuição das diversas áreas de pesquisa presentes nas disciplinas torna-se imprescindível, pois, como afirma Roy Harris, “a linguagem não pode ser estudada isoladamente da investigação da racionalidade” [5]. Diversos aspectos relacionados à sua estrutura, seu uso, sua aquisição e seu aprendizado, devem ser estudados para melhor compreensão da sua evolução, assim como das suas diferenças em relação a outros meios de comunicação, dos aspectos culturais e biológicos relacionados com ela e das diferenças entre diferentes linguagens.

Entre as disciplinas que ganharam espaço no estudo da evolução da linguagem destaca-se a Inteligência Artificial, principalmente devido à possibilidade do uso de modelos computacionais para simulação, favorecendo o estudo de pontos relevantes para o entendimento da formação e evolução lingüística. Nesse contexto, o presente

trabalho tem como propósito propor um modelo computacional para simulação da evolução da linguagem utilizando arquiteturas cognitivas e abordando três aspectos evolutivos: aprendizado individual, transmissão cultural e, por fim, a evolução biológica.

As próximas seções deste artigo introduzirão o modelo iterativo de aprendizado, a arquitetura cognitiva Soar e duas técnicas de modelagem computacional que serão utilizadas no modelo computacional: algoritmos genéticos e redes multi-agente.

## O MODELO ITERATIVO DE APRENDIZADO

Um das metas chaves da lingüística moderna é explicar a natureza da linguagem humana. Uma das abordagens considera que a melhor forma de entender por que as linguagens são como elas são é estudando como elas tornaram-se dessa forma, ou seja, entendendo a sua evolução. E para estudar essa questão existem duas linhas rivais: a primeira, e a mais comum, considera que a linguagem é uma adaptação de algum tipo; já a segunda considera que a linguagem é um elemento não-adaptativo que emergiu como um subproduto de outros processos [2]. O “mainstream” assume a primeira linha explanatória, que enxerga a linguagem como uma evolução e que seu desenvolvimento ocorreu em resposta à alguma pressão seletiva para melhorar a comunicação entre seres humanos.

Kirby [7] chama atenção para o fato de que a linguagem é um sistema natural não muito usual e que, devido a isso, devemos ter muito cuidado ao assumir que podemos explicá-la utilizando argumentos válidos para outros sistemas naturais. Sendo assim ele propõe que a linguagem originou-se e desenvolveu-se através de interações não-triviais entre três sistemas adaptativos complexos: aprendizado individual, evolução biológica e transmissão cultural [7].

Uma idéia que surgiu da lingüística generativa é de que a estrutura da linguagem pode ser explicada, pelo menos em parte, se entendermos o processo de aquisição da linguagem por uma criança. Ela é exposta a uma série de dados lingüísticos primários, e deve formar uma

gramática baseando-se apenas em elocuições degeneradas e parciais [7]. Lingüistas como Noam Chomsky e Eric Lenneberg sugerem que o ser humano possui um mecanismo cognitivo inato com características específicas que facilitam e restringem o aprendizado da linguagem. Outras hipóteses explicam que a aquisição da linguagem ocorre através das habilidades cognitivas genéricas do ser humano e interações do ser em desenvolvimento com a sua comunidade. Em ambas os casos, o que está em questão é o processo adaptativo que possibilita a aquisição da competência lingüística no âmbito individual. E sendo assim, existe um consenso de que há um link causal entre a estrutura do indivíduo e a estrutura da linguagem e que todo aprendiz possui em sua estrutura cognitiva certas características que moldam o processo de aquisição da linguagem, independente da linguagem a que ele é ou será exposto [4] [2]. Stumpf [15] expõe seu ponto de vista sobre essa questão da seguinte forma:

*“All human populations communicate by means of language and all spoken languages appear to show similar complexity. From this and the close connection between language and other cognitive facilities, it follows that the human language faculty must be seen as a part of human biology and not solely part of human culture.”*

Pinker e Bloom defendem que a aptidão natural que o ser humano possui para a linguagem é resultado de um processo adaptativo biológico que emergiu através da seleção natural para a comunicação [10]. Existem várias explicações possíveis para justificar a adaptação biológica como um processo de evolução da linguagem. Por exemplo, houve uma necessidade de melhorias na comunicação entre humanos em algum momento da história dos Homo sapiens, e a comunicação oral foi o meio ótimo para solucionar o problema. Grupos que possuíam a habilidade de comunicar-se através de linguagens primitivas certamente tinham vantagens competitivas de sobrevivência diante dos outros grupos. Eles podiam trocar informações sobre condições de sobrevivência dos locais, onde encontrar comida, água, condições climáticas, etc. Outra possível fonte de pressão para a seleção natural relaciona-se com a melhora das habilidades lingüísticas em grupos sociais nos quais seus membros possuem divergências ou conflitos de interesses [11].

Por fim, o terceiro sistema complexo que participa da cadeia de interações responsáveis pela evolução da linguagem é a transmissão cultural. Muitos proponentes dessa abordagem explicam a estrutura gramatical como um produto emergente da transmissão cultural da linguagem através de

muitas gerações de aprendizes [13]. A evolução ocorre quando a criança tenta adquirir a linguagem dos seus tutores. A diferença entre a linguagem da criança e dos tutores resulta na evolução cultural. Essa adaptação favorece a comunicação em dois sentidos: facilita a aquisição das linguagens presentes na cultura e restringe ao aprendiz a aprender linguagens que são úteis para a comunicação [7].

A linguagem é, por conseguinte, um resultado da interação entre a evolução biológica, o aprendizado e a evolução cultural. A aptidão inata pela linguagem que o ser humano possui como resultado da evolução biológica guia o aprendizado individual, criando facilidades e impondo restrições. O processo de aprendizado em si, através da transmissão da linguagem, proporciona a evolução cultural, adaptando a linguagem aos novos aprendizes e facilitando o seu uso. Consequentemente, as mudanças culturais alteram o cenário de aptidão, motor da evolução biológica [7]. Um problema chave para esta teoria explanatória da evolução da linguagem é o entendimento de como estes três sistemas complexos interagem em três diferentes escalas de tempo: o ciclo de vida do indivíduo (algumas dezenas de anos), da linguagem (milhares de anos) e das espécies (centenas de milhares de anos) [3].



Figura 1: A linguagem é uma consequência da interação entre aprendizado, transmissão cultural e evolução biológica.

## SOAR

Soar é uma arquitetura cognitiva criada na década de 1980 por Alan Newell, e vários dos seus estudantes, como uma candidata à teoria unificada da cognição. Uma arquitetura cognitiva compreende a modelagem do comportamento e das propriedades estruturais de um sistema visando reproduzir não somente vários aspectos do comportamento cognitivo, mas também a cognição como um todo [9]. Ela é composta por estruturas fixas que são responsáveis por reproduzir o comportamento inteligente. Modelos cognitivos

para tarefas específicas podem ser programados utilizando-se os recursos disponíveis na arquitetura.

Segundo a teoria da Soar, o comportamento cognitivo apresenta ao menos as seguintes características [8] [9]:

1. É orientado a metas - vivemos e agimos orientados por nossos desejos e intenções.
2. Ocorre em um ambiente rico, complexo e detalhado – o mundo que percebemos e agimos é complexo, estamos constantemente em contato com objetos, qualidades, ações, etc.;
3. Requer uma grande quantidade de conhecimento – conhecimento é premissa para o comportamento inteligente;
4. Requer o uso de símbolos e abstração – representamos o mundo internamente usando símbolos e devido a isso somos capazes de criar abstrações;
5. É flexível e trabalha em função do ambiente – a cognição humana é flexível e adapta-se ao ambiente, não segue um plano fixo;
6. Requer aprendizado do ambiente e experiência – o ser humano torna-se proficiente nas atividades que desempenha no mundo através do aprendizado e da sua experiência.

O modelo Soar é baseado em um sistema de produção. Seu principal elemento é a idéia de espaços de problemas: tudo é considerado um problema e os atos cognitivos são tarefas de busca nesses espaços. Sendo assim, Soar utiliza uma teoria de resolução de problemas na qual toda atividade com esse fim é formulada através da seleção e aplicação de operadores a um estado, visando atingir alguma meta. Os estados contêm toda informação sobre a situação atual, incluindo percepção e descrições das metas atuais e espaços de problema. Os operadores possibilitam dar um passo adiante no espaço de problemas. Os estados ficam armazenados em uma estrutura hierárquica presente na memória de trabalho, que armazena também percepções e associações entre estados e operadores.

O ciclo de decisão é o principal mecanismo do Soar e é composto de cinco fases: entrada, elaboração, decisão, aplicação e saída. Na entrada os elementos da memória de trabalho são criados refletindo as mudanças na percepção. A elaboração compreende o acesso paralelo às regras contidas na memória de longo prazo, que são então aplicadas aos elementos da memória de trabalho resultando em mudanças na memória de trabalho e na

definição de sugestões ou preferências para a seleção do operador. Na fase de decisão, as preferências adicionadas à memória de trabalho são avaliadas por um procedimento fixo que determina qual a melhor operação. A operação selecionada é então aplicada para produzir a transição de estado no espaço de problemas e, enfim, ocorre a saída do comando para a interface de percepção/motora. Se o procedimento de decisão não consegue determinar um operador único, devido à ausência de conhecimento, Soar automaticamente inicia um sub-estado com o objetivo de solucionar o impasse. Um sub-estado é um novo estado que representa toda informação relevante para a resolução do impasse. Soar irá utilizar a mesma abordagem de decisão anterior, sendo que agora a meta é sugerir um novo operador (caso nenhum tenha sido selecionado anteriormente) ou selecionar um entre dois operadores do estado original. No caso de um impasse devido à ausência de conhecimento, as memórias episódicas e semânticas podem ser acessadas como uma fonte complementar de conhecimento [8].

Soar tem quatro mecanismos de aprendizado em sua arquitetura. O “Chunking” possibilita a criação de novas regras na memória de longo prazo, baseando-se nas decisões tomadas para a resolução de um impasse. As novas regras (chunk) são utilizadas no futuro para evitar impasses similares. O aprendizado por reforço ajusta os valores de preferência dos operadores. A aprendizagem episódica armazena o histórico de experiências, contribuindo para o conhecimento episódico. E por último temos a aprendizagem semântica, que captura asserções declarativas mais abstratas e incrementa a chamada memória semântica que armazena fatos sobre o mundo [8].

## ALGORITMOS GENÉTICOS

Os algoritmos genéticos foram inicialmente propostos e analisados em 1975, por John Holland, em seu livro pioneiro “Adaptation in natural and artificial systems” [6]. Seu método de busca é inspirado na teoria da seleção natural de Darwin e na Genética e utiliza uma estratégia de busca paralela e direcionada a regiões promissoras do espaço de busca.

Os métodos de busca e otimização utilizados para solução de problemas possuem alguns elementos comuns. Entre eles, podemos citar: o espaço de possibilidades ou espaço de busca em que estão localizadas todas as soluções potenciais para um determinado problema; os pontos iniciais que determinam em que local do espaço de possibilidades a busca se inicia; os operadores, que são ações que conduzem a busca e garantem a exploração do espaço de possibilidades; as

soluções, que são determinadas por um critério; e, por fim, a medida de promessa que indica quanto um determinado ponto do espaço de possibilidades está perto da solução [12].

A estratégia de busca mais simples seria explorar todos os pontos do espaço de possibilidades até encontrar a solução. No entanto, em problemas complexos, normalmente encontramos um espaço de possibilidades muito grande contendo um pequeno número de soluções. Nesses casos, devemos utilizar métodos de busca que adotem estratégias de busca inteligentes, utilizando heurística, ou seja, a investigação fundamentada na aproximação de um dado problema, envolvendo estratégias que aumentam as chances de encontrar-se a solução sem, no entanto, garantir que elas serão encontradas [12] [1]. Um bom método de busca heurística deve assegurar uma boa exploração do espaço de possibilidades e o aprimoramento de soluções promissoras, que indicam uma possível convergência para a solução do problema.

As técnicas tradicionais de busca e otimização, normalmente, concentram-se em aperfeiçoar apenas uma solução-candidata através de heurística e não exploram devidamente o espaço de busca para tentar encontrar soluções alternativas. Algumas técnicas também utilizam métodos de busca aleatória que procuram explorar ao máximo o espaço de busca, mas esquecem de aprimorar as soluções promissoras [12].

Nos algoritmos genéticos, são utilizadas técnicas que procuram aprimorar várias soluções-candidatas paralelamente, ao mesmo tempo em que exploram o espaço de busca à procura de novas regiões promissoras. Isso é possível através das características herdadas da evolução natural e da genética.

## REDES DE AGENTES

A definição de agentes de software vem sendo discutida por vários anos. Não existe uma definição formal e até mesmo um consenso entre os pesquisadores da diferença entre um agente e um programa comum. No entanto, algumas características são consideradas obrigatórias para que um programa seja considerado um agente de software, são elas:

- Reatividade – o agente sente as mudanças no ambiente e age de acordo com estas mudanças;
- Autonomia – o agente tem controle sobre suas próprias ações;
- Pró-atividade – o agente é orientado a metas;

- Persistência – o agente é executado continuamente.

Um agente de software pode também possuir de diversas outras propriedades ortogonais, entre as quais podemos citar:

- Mobilidade – o agente é capaz de deslocar-se entre hosts em uma rede;
- Aprendizagem – o agente é capaz de adaptar-se se baseando em experiências prévias;
- Comunicabilidade – o agente consegue comunicar-se com outros agentes;
- Adaptabilidade – o agente se adapta a múltiplos ambientes;
- Robustez – o agente é capaz de lidar com erros inesperados, entre eles, esgotamento de recursos de um sistema;
- Credibilidade – o agente passa uma sensação de credibilidade para o usuário final, o qual tem a ilusão de que o agente é um ser vivo.

Os sistemas multi-agentes são compostos de vários agentes independentes e capazes de comunicar-se e de interagirem entre si e com o ambiente em que estão inseridos. Nesse ambiente, os agentes são entidades ativas que se comunicam de forma direta (mensagens) ou de forma indireta (emissão de sinais através do ambiente). Os sistemas multi-agentes são muito utilizados para solução de problemas onde os agentes atuam de forma cooperativa para atingir uma meta [12]. Um exemplo comum é o uso desse tipo de sistema para a simulação do nosso mundo real, através da criação de criaturas virtuais em forma de agentes, com o objetivo de estudar algum fenômeno natural ou social.

## MODELO DE SIMULAÇÃO PROPOSTO

O modelo computacional para simulação da evolução da linguagem aqui proposto têm como fundamento o modelo iterativo de aprendizado e deve prover mecanismos de simulação para dos três sistemas adaptativos responsáveis pela evolução da linguagem: desenvolvimento individual, transmissão cultural e evolução biológica. A proposta consiste da construção de um sistema multi-agente que possibilite uma ambiente favorável à comunicação e troca de “experiência” entre os agentes. Essa “troca de conhecimento” deverá possibilitar a evolução da linguagem através da transmissão cultural, onde existirão “feedback loops” entre os indivíduos e convenções culturais para linguagem serão estabelecidas. Por outro lado,

os agentes deverão estar munidos de um mecanismo de aprendizado eficiente que garanta a evolução da linguagem também no nível individual. Para isso será utilizada a arquitetura cognitiva Soar que, com seus mecanismos de aprendizagem, possibilitará o desenvolvimento individual e também será responsável por simular todo o comportamento cognitivo do indivíduo quando este interagir com o ambiente e com outros agentes.

O sistema multi-agente funcionará em um modelo populacional, com agentes entrando e saindo do ambiente com o passar do tempo. A geração de novos indivíduos (crianças) para a sociedade de agentes irá possibilitar a simulação do terceiro sistema complexo do modelo de evolução lingüística adotado, a evolução biológica. Os algoritmos genéticos poderão ser utilizados para gerar indivíduos com modificações na suas “estruturas genéticas” resultantes das operações de cruzamento e mutação, alterando progressivamente as características da estrutura cognitiva dos indivíduos e provocando a evolução biológica necessária para a simulação. Os novos indivíduos serão introduzidos no ambiente e deverão aprender a linguagem corrente com os adultos, ou indivíduos mais experientes.

Obviamente o modelo aqui proposto está sujeito a diversos desafios. Diversas decisões deverão ser tomadas na concepção do modelo multi-agente, muitas delas complexas. Para citar algumas: a forma de representação que será utilizada para os dados lingüísticos, a forma de interação entre os agentes, como eles reagirão às interações, como os agentes envelhecerão, se haverá estrutura social, se os agentes irão somente trocar informações lingüísticas ou se haverá outra forma de comunicação, entre outras. No âmbito individual, também são muitas as decisões de implementação. Será necessário, por exemplo, definir que conhecimento lingüístico será armazenado e como eles poderão ser aprendidos. Como qual idade os indivíduos sairão do ambiente e como eles reagirão ao status social em que se encontram.

Com tantas variáveis, é recomendável que o modelo computacional proposto não avance muito no seu grau de complexidade para que seja possível a interpretação dos seus resultados. O modelo pode ser implementado de forma gradativa, começando com a concepção da estrutura indivíduo dos agentes, a forma de representação da linguagem e os mecanismos de aprendizado, para depois uni-los em um ambiente multi-agente. Por último, após os modelos individual e social mostrarem-se satisfatórios, a evolução biológica pode ser introduzida no sistema, completando assim nosso modelo conceitual.

## CONCLUSÃO

A forma que a linguagem é aprendida e a forma que as inovações se espalham através de uma população são processos complexos. Tais sistemas não podem ser descritos matematicamente de uma forma simples. Conforme observou Luck Steels, a linguagem é um sistema dinâmico (não-linear) complexo [14]. Buscando entender os processos que estão por detrás dessa complexa evolução da linguagem humana, o presente trabalho busca fundamentar-se em teorias e modelos consagrados no meio científico para propor um modelo computacional viável e que produzam resultados passíveis de estudo. As técnicas de modelagem computacional propostas já foram utilizadas em diversos experimentos correlatos e existe um número relativamente bom de ferramentas disponíveis para concretização do seu uso. Isso certamente não garante o sucesso da abordagem aqui proposta, mas facilita o trabalho de implementação visto que é possível contar com suporte de outros pesquisadores e das comunidades que utilizam ou contribuem para o desenvolvimento dessas ferramentas.

Diversas possibilidades ainda podem ser consideradas durante a implementação do modelo computacional aqui proposto. Por exemplo, outras arquiteturas cognitivas podem ser utilizadas em substituição do Soar, entre as quais podemos destacar o ACT-R. Criada na Carnegie Mellon University por John Anderson e outros pesquisadores, ela tem sido bastante utilizada para experimentos relativos à simulação dos processos cognitivos humano. Para a implementação do sistema multi-agentes, podemos encontrar diversas ferramentas de desenvolvimento disponíveis, com, por exemplo, a JADE (Java Agent DEvelopment Framework) e Aglets Software Development Kit (ASDK). Existe ainda a SNTool (Semiotic Network Toolkit), ferramenta desenvolvida na Unicamp pelo Grupo de Computação Semiótica para a construção de redes semiônicas, e que pode ser utilizada inclusive para modelar o comportamento inteligente dos agentes aqui descritos substituindo, nesse caso, a arquitetura cognitiva Soar.

A despeito das tecnologias adotadas para implementar o modelo computacional proposto, o modelo iterativo de evolução da linguagem apresentado nesse trabalho, introduzido por Hurford e Kirby, é relativamente recente e muito ainda precisa ser estudado. Nesse prisma, a simulação computacional pode ser um artifício muito valioso, mesmo que não suficiente, para o estudo e compreensão da evolução da linguagem através do modelo de aprendizado iterativo e uma ferramenta

promissora para desvendar inúmeros dos seus problemas.

## REFERÊNCIAS

- [1] BÄCK, T.; FOGEL, D.B.; MICHALEWICZ, Z. (eds.) (1997). Handbook of Evolutionary Computation. Oxford: Institute of Physics Publishing and Oxford University Press.
- [2] BRIGHTON, H. (2002). Compositional syntax from cultural transmission. *Artificial Life*, 8(1):25–54.
- [3] CHRISTIANSEN, M. H.; KIRBY, S. (2003). Language Evolution: Consensus and Controversies. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(7):300--307.
- [4] CHRISTIANSEN M.H. (2004). The Necessity of Innate Constraints on Cultural Transmission in Theories of Language Evolution. Paper presented at the Fifth International Conference on the Evolution of Language, Leipzig, Germany
- [5] HARRIS, R. (1981). *The Language Myth*. Londres, Duckworth.
- [6] HOLLAND, J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Michigan: University of Michigan Press.
- [7] KIRBY S. (2005). *The Mechanisms of Adaptive Linguistic Evolution*. Morris Symposium Working Paper.
- [8] LEHMAN, J.F.; LAIRD, J.E.; ROSENBLOOM, P.S. (1996). A gentle introduction to Soar, an architecture for human cognition: 2006 Update.
- [9] NEWELL, A. (1990). *Unified Theories of Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [10] PINKER, S. (2003). Language as an adaptation to the cognitive niche. In M.H. Christiansen and S. Kirby, editors, *Language Evolution: The States of the Art*. Oxford University Press
- [11] PINKER, S. (1994). *The language instinct*. New York: William Morrow.
- [12] REZENDE, S.O. (2003), *Sistemas Inteligentes - Fundamentos e Aplicações*. Barueri: Editora Manole.
- [13] SMITH, K.; BRIGHTON, H.; AND KIRBY, S. (2003). Complex systems in language evolution: the cultural emergence of compositional structure. *Artificial Life*, 9(4):371-- 386.
- [14] STEELS, L. (1998). Synthesising the origins of language and meaning using co-evolution, selforganisation and level formation. In *Approaches to the evolution of language*, J. R. Hurford, S.-K. Michael and C. Knight (eds), 384–404. Cambridge: Cambridge University Press.
- [15] STUMPF, M. P. H. (2001). Language's place in nature. *Trends in Ecology and Evolution*, 16:475--476.