

## EXPLORANDO UM MODELO COMPUTACIONAL DA AQUISIÇÃO LEXICAL

Rafael Luis Beraldo<sup>1</sup>

**Resumo:** O problema lógico da aquisição lexical pode ser descrito da seguinte maneira: como a criança pode aprender a associação arbitrária entre som e significado dado que os adultos à sua volta podem estar falando sobre qualquer assunto, usando as palavras que lhes convier? Em outras palavras, que mecanismos cognitivos estão disponíveis para a criança intuir o que está sendo dito e a partir disso adquirir um léxico? Neste trabalho, apresentamos uma revisão crítica do modelo computacional da aquisição lexical proposto por Siskind (1996), acompanhado de uma breve revisão da teoria que o sustenta e das análises alternativas propostas por dois outros modelos. A modelagem computacional constitui uma importante forma de verificar a viabilidade de conceitos provenientes das descrições de crianças em idade de aquisição bem como dos estudos psicolinguísticos. Para que possam ser incorporados a um modelo da cognição, tais conceitos devem ser especificados formalmente, o que pode levar a uma maior compreensão da sua instanciação no cérebro, plausibilidade e consequências. O modelo em questão põe à prova o conceito de aprendizagem transituacional — a noção de que as crianças adquirem as palavras observando o que há em comum entre as suas diversas ocorrências, considerando os contextos linguístico e extralinguístico — em uma simulação da tarefa da aquisição lexical que leva em consideração obstáculos como a incerteza referencial, o ruído e a homonímia. Veremos ainda que apesar de lançar luz sobre muitas questões da aquisição lexical, o modelo discutido ainda deixa aberta muitas portas para investigação.

**Palavras-chave:** Modelagem Computacional. Aquisição Lexical. Aquisição da Linguagem.

**Abstract:** The logical problem of word learning can be described as follows: how can a child learn the arbitrary association between sound and meaning given that her caretakers may be reasonably talking about any subject and using any words they might want to? Or, alternatively, what cognitive mechanisms are available for the child to infer what is being said and from this inference acquire a lexicon? In this paper, we present a review of the computational model of lexical acquisition proposed by Siskind (1996), along with a brief review of the supporting theoretical literature as well as some criticism. Computational modeling is an important way of assessing how viable the concepts put forth by descriptions of child development and by psycholinguistic experiments really are. In order to be incorporated into a model of cognition, such concepts must be formally rendered, which might lead to a greater understanding of their instantiation in the brain, their plausibility and their unforeseen consequences. Siskind's model puts the notion of cross-situational learning to the test. The idea that children are sensitive to what is common among several occurrences of a word is simulated in a lexical acquisition task where hurdles such as referential uncertainty, noise and homonymy are all present. We end by considering what light has been shed on the issue of lexical acquisition and what questions are still left unanswered by the model at hand.

**Keywords:** Computational Modeling. Lexical Acquisition. Language Acquisition.

---

<sup>1</sup> Mestrando em Linguística pelo Instituto de Estudos da Linguagem, Unicamp, e-mail: [rberaldo@cabaladada.org](mailto:rberaldo@cabaladada.org).

Ao nascer, a criança nada sabe sobre as palavras: todos os significados lhe são opacos. Por meio de algum processo, naturalmente e sem instrução, ela é capaz de construir o seu léxico. Podemos ver esse léxico como um mapeamento entre a representação mental das palavras — fisicamente, sons ou sinalizações — e algum tipo de representação mental do significado. Deixando as considerações semânticas de lado por hora, explicar a aquisição lexical torna-se a busca por uma teoria dos mecanismos cognitivos disponíveis ao aprendiz para realizar esse mapeamento (INGRAM, 1999, p. 155). Os dados de produção lexical das crianças (bem como o que deixam de produzir) têm permitido conjecturas acerca de quais seriam esses mecanismos cognitivos; já os experimentos psicolinguísticos fornecem evidências que atestam ou refutam a sua validade. Uma terceira via de investigação, a modelagem computacional, viabiliza a instanciação precisa desses mecanismos, de modo que podemos testar a sua robustez e suficiência frente ao problema da aquisição lexical.

A modelagem computacional da cognição nos permite simular as diferentes estratégias que os esforços teóricos têm descrito ao mesmo tempo que exige uma descrição formal do problema em mãos (PEARL, 2010). No decorrer deste artigo, exploraremos diversos aspectos do modelo de aquisição lexical proposto por Siskind (1996). Discutiremos sua adequação ao problema, quais variáveis são controladas ou não e como a especificação concreta de um problema linguístico pode levar a novas reflexões.

Dentre as vantagens da modelagem da cognição, estão a possibilidade de variar os parâmetros da simulação e de substituir o mecanismo subjacente que está sendo testado. É possível averiguar, por exemplo, o impacto do tamanho do léxico alvo ou da quantidade de elementos distratores. Diferentes mecanismos de aquisição também podem ser facilmente comparados, desde que os dados de entrada sejam compatíveis entre si. Em suma, essa técnica torna viável a exploração de diversas condições experimentais em um mesmo estudo.

Como baliza, devemos sempre nos ater às capacidades cognitivas do aprendiz em questão. No caso da criança adquirindo um léxico, é razoável assumir que possua a habilidade de segmentar palavras, mas não que tenha acesso aos seus significados de antemão — caso contrário, o poder explicativo do modelo seria seriamente comprometido. O desenvolvimento linguístico da criança fornece outra métrica importante a partir da qual podemos julgar a adequação do modelo. Espera-se que o mecanismo em questão se comporte de maneira compatível com as tendências do aprendiz humano. Por exemplo, uma observação recorrente é que as crianças apresentam uma explosão na taxa de aquisição das palavras no momento em que exibem um vocabulário de produção com cerca de 50 itens (DROMI, 1999). Um modelo consistente com essas e outras observações pode dar pistas em direção a uma maior

compreensão dos mecanismos da aquisição, embora naturalmente não possa ser tomado como equivalente ao que a criança faz. Ou seja, um modelo — à medida em que se torna mais e mais psicologicamente plausível — fornece evidências de que o mecanismo de aquisição instanciado é válido enquanto solução do problema formalmente especificado e estaria disponível para o aprendiz.

O que segue é uma caracterização do problema da aquisição lexical e conjecturas sobre os mecanismos com os quais as crianças parecem filtrar os dados de entrada. Tais mecanismos, normalmente caracterizados como vieses cognitivos<sup>2</sup>, permeiam o trabalho da modelagem computacional de maneira nem sempre explícita; portanto, investiremos algum tempo descrevendo-os. Mais à frente, prosseguimos com uma revisão crítica do modelo de Siskind, pesando suas contribuições e caminhos deixados em aberto.

#### COMO AS CRIANÇAS ADQUIREM PALAVRAS?

Imagine uma língua na qual cada palavra possui apenas um referente concreto no mundo. Os enunciados não têm nenhuma estrutura interna, sendo apenas um encadeamento de palavras. Para uma criança nascida nessa comunidade, a tarefa da aquisição lexical seria bastante simples: estabelecer as relações entre as palavras que ouve e os referentes que vê à sua volta. Em um determinado episódio, a criança ouve a palavra *mamão* ao mesmo tempo que, à sua frente, há um cesto contendo maçãs, peras e mamões. Para adquirir a palavra, bastaria que ela postulasse o referente correto e que o confirmasse nas exposições subsequentes à palavra. Caso em sua hipótese selecionasse o referente errado — a maçã, por exemplo — sua experiência linguística e perceptual eventualmente iria oferecer evidências o suficiente de que *mamão* não é a fruta vermelha e pequena, mas aquela grande e repleta de sementes. A princípio, o problema da aquisição lexical nessa língua parece facilmente superável.

No entanto, não seria descabido supor, como reflete Quine (1960), que a criança prestasse atenção a mais referentes do que propusemos acima. Mesmo que limitássemos as hipóteses apenas aos referentes visíveis no contexto extralinguístico, ainda assim muitos seriam válidos: as cadeiras, a mesa, o café, os pães, os pratos ou talheres, as pessoas e até mesmo o chão e o teto. Se nessa língua simplificada o problema já começa a parecer intransponível, a dificuldade é mais evidente nas línguas naturais, que permitem construções sintáticas e semânticas muito mais ricas, tornando o espaço de hipóteses que a criança deve considerar imensamente maior.

---

<sup>2</sup> Os termos viés, restrição e assunção são empregados na literatura de maneira equivalente com o sentido de “tendência imposta pela cognição”. Em geral, optaremos por “viés”, porém os outros termos serão utilizados quando fizermos referência à nomenclatura proposta por algum autor.

Ainda assim, ao completar seis anos de idade, as crianças já conhecem cerca de 14.000 palavras (CAREY, 1978). Para explicar a aparente disparidade entre a dificuldade do problema da incerteza referencial, posto acima, e a facilidade com que as crianças o resolvem, mecanismos cognitivos têm sido propostos, dando ao aprendiz um papel ativo na construção de uma representação interna do mundo a partir de vieses mentais e perceptuais, bem como fazendo uso do seu conhecimento sintático.

Markman (1990) apresenta vieses que restringiriam os possíveis significados das palavras, em especial dos substantivos. A pesquisadora defende e fornece evidências experimentais de que as crianças prioritariamente presumem que as palavras dizem respeito a objetos inteiros e não suas partes (*assunção do objeto inteiro*) e que o nome atribuído a um referente pode ser estendido também aos outros objetos da mesma classe (*assunção taxonômica*). Para contrabalancear os efeitos da assunção do objeto inteiro, Markman propõe ainda que a criança tem uma preferência por não associar uma nova palavra a um objeto para o qual já tem um nome (*assunção da exclusividade mútua*). Dessa maneira, conhecendo a palavra *cachorro* e seu referente, poderá considerar a hipótese de que as palavras *focinho* ou *pata* correspondam a uma parte do animal, uma vez que o todo já possui um nome. Guiada por esses vieses cognitivos e pela atenção compartilhada com o adulto (BALDWIN, 1995), a criança restringe consideravelmente o número de hipóteses que considera ao ouvir uma nova palavra.

Naigles (1990) argumenta que tais vieses cognitivos, por serem propostos para substantivos, não contemplam as dificuldades específicas da aquisição dos verbos. Além da incerteza referencial, outros fatores semânticos tornam o problema ainda mais intrincado. Por exemplo, não há uma relação confiável entre os contextos linguístico e extralinguístico que garanta que um determinado verbo carrega o sentido de causatividade. No entanto, existe uma simetria relativamente confiável entre a sintaxe e a semântica de um verbo: transitividade direta em geral é indício de causatividade, como é possível observar até certo ponto no par *derrubar* × *cair*. Essa noção de alavancagem sintática (LANDAU; GLEITMAN, 1985) da aquisição dos verbos constitui mais uma fonte de informações para restringir hipóteses sobre os possíveis significados das palavras.

Embora os vieses acima limitem as hipóteses, enunciados e seus contextos nem sempre fornecem informação ostensiva o suficiente para que o significado de uma palavra seja determinado. No entanto, o aprendiz pode ser sensível às diferenças e similaridades comuns entre as ocorrências. Fisher et al. (1994) e Pinker (2013) propõe um mecanismo de aprendizagem que cruza as informações dessas instâncias. O aprendiz progressivamente elimina as hipóteses que se mostrarem impossíveis e confirma aquelas possíveis, refinando seu

estado atual do significado da palavra. Eventualmente, ele irá convergir no significado correto. Seria por meio desse mecanismo, batizado de aprendizagem transituacional (do inglês *cross-situational learning*) por Fisher et al., que palavras com significados muito próximos como *andar* e *caminhar* poderiam ser eventualmente desambiguadas.

Siskind (1996) leva em consideração ainda outras dificuldades próprias ao problema que seu modelo pretende resolver, algumas delas atreladas à noção de aprendizagem transituacional. Além da incerteza referencial já comentada acima, são desafios: os enunciados com mais de uma palavra, o problema da alavancagem da aquisição, situações de ruído e palavras homônimas. Vejamos o que são.

Os enunciados que as crianças ouvem raramente contêm apenas uma palavra. Portanto, as crianças devem postular um significado para o enunciado como um todo e subsequentemente aprender que parte do significado corresponde a qual palavra. O autor sugere que, além da observação de várias ocorrências, é possível utilizar o conhecimento semântico sobre algumas palavras já conhecidas do enunciado para restringir as hipóteses sobre outras. Esse conhecimento parcial sobre as palavras será explorado na próxima seção em mais detalhes. Note que, nesse modelo, apenas o conhecimento semântico é explorado, embora a sintaxe também seja uma possível fonte de informações, como argumenta Naigles (1990) acima.

A seguir, é preciso responder como as crianças adquirem suas primeiras palavras a partir de um estado inicial de conhecimento nulo. Siskind emprega uma estratégia transituacional, lentamente agregando conhecimento parcial sobre as palavras, o que permite estipular o que *não pode* e o que *pode* fazer parte do significado de uma palavra. Oportunamente, aplicam-se regras de exclusividade mútua no enunciado para determinar o que *deve* ser parte do significado de uma palavra. Em conjunto, tais regras operam desde os estágios da aquisição mais incipientes até os mais avançados.

Finalmente, homonímia e ruído são difíceis entraves para a estratégia transituacional, uma vez que ela depende de as palavras serem “consistentes em todas as situações observadas” (p. 50). Isto é, se o aprendiz está buscando o que há em comum em todas as instâncias de *porta*, o fato de que a mesma palavra tem dois sentidos completamente diferentes — o substantivo e o verbo no presente — fere a expectativa de consistência. Situações de ruído são análogas. É possível que a criança, ao observar uma cena e ouvir um enunciado, postule apenas hipóteses de interpretação incorretas, criando uma inconsistência. Ou seja, a quebra de consistência pode advir da presença de mais de um sentido a aprender ou do ruído. Nesse caso, o modelo precisa ser robusto o suficiente para identificar a presença do ruído ou para recuperar-se dele. Ambas as dificuldades são abordadas por Siskind.

## UM MODELO TRANSITUACIONAL DA AQUISIÇÃO LEXICAL

Siskind (1996) apresenta um modelo computacional da aquisição lexical vista como um problema de mapeamento palavra-significado. Um de seus objetivos é dar realidade formal à noção de aprendizagem transituacional, que é a inferência do significado de uma palavra a partir das consistências que emergem da observação de diferentes ocorrências. Essa estratégia tem sido proposta para explicar como a criança poderia superar a incerteza referencial, ou seja, a constatação de que existe um número virtualmente infinito de asserções possíveis sobre o mundo e de que a criança deve de algum modo restringir quais podem razoavelmente corresponder ao significado dos enunciados que ouve. É ainda possível que a criança ouça um enunciado e que dentre as suas hipóteses de significado não esteja uma que corresponda ao que foi dito, configurando assim uma situação de ruído. O modelo é capaz de extrair significados corretos apesar da influência negativa desses dois fatores.

O aprendiz<sup>3</sup> transituacional de Siskind consiste de uma simplificação da tarefa da aquisição lexical vista como a interação entre duas faculdades cognitivas distintas (p. 44). A faculdade da percepção da fala representa a capacidade da criança de segmentar palavras (ou sinalizações) a partir da fala (ou do *input* visual). Ela gera símbolos atômicos que correspondem à representação mental da palavra. Assim, ao ouvir o enunciado “A Maria levantou a cadeira”, o conjunto de símbolos  $\{a, Maria, levantou, a, cadeira\}$  será produzido. A segunda fonte de dados é a faculdade conceitual/perceptual, que representa a capacidade da criança de criar hipóteses sobre o que pode ter sido dito em uma determinada situação. Essa faculdade produz expressões conceituais seguindo Jackendoff (1983)<sup>4</sup>, de modo que ao ver a Maria levantar a cadeira a expressão CAUSAR(**Maria**, IR(**cadeira**, CIMA)) é gerada. Nesse modelo, a incerteza referencial é a medida de quantas expressões conceituais serão geradas por enunciado. Quando um enunciado vier pareado de nenhuma expressão que represente corretamente o seu significado, dizemos que tal par é ruidoso.

Ao longo das observações, o modelo determinará que os símbolos *Maria*, *cadeira* e *levantar* mapeiam para as representações **Maria**, **cadeira** e CAUSAR(*x*, IR(*y*, CIMA)), respectivamente. Como se vê, o aprendiz lidará com duas classes de palavras, aquelas que tomam e aquelas que não tomam argumentos, representados pelas variáveis *x* e *y*. Essas duas classes correspondem aos substantivos, que em sua maioria não tomam argumentos, e aos

---

<sup>3</sup> Os termos *modelo* e *aprendiz* serão doravante empregados de maneira intercambiável, ao passo que *criança* será reservado para quando considerarmos as capacidades e características do aprendiz humano.

<sup>4</sup> De acordo com Siskind, a escolha dessa representação semântica em especial não determina o funcionamento do modelo, de modo que seria possível substituí-la por uma semântica não decomposicional, ou baseada em traços etc.

verbos, que em sua maioria têm posições argumentais (p. 52). Palavras gramaticais, como o determinante *a* que aparece duas vezes no exemplo acima, são tidos como destituídos de conteúdo semântico; além disso, as palavras que constituem os enunciados são apresentadas desordenadamente ao modelo, pois os efeitos da ordem não são investigados. Finalmente, cada símbolo pode estar associado a um ou mais sentidos, de modo que o modelo terá ainda que lidar com situações de homonímia.

Além dessas simplificações, Siskind ainda supõe que a criança segue quatro princípios, fundamentais para o sucesso do modelo. O primeiro diz respeito ao uso do *conhecimento parcial* das palavras: a criança faz uso de fragmentos do significado das palavras para escolher quais significados hipotéticos de um enunciado são possíveis ou impossíveis. Por exemplo, dado o enunciado “o João caiu” e as hipóteses CAIR(**João**) e HAVER(**água**, EM(**chão**)), o conhecimento parcial sobre *João* ou *caiu* é suficiente para que a criança selecione a hipótese correta. O segundo princípio já foi discutido anteriormente e postula que a criança faz *inferências transituacionais*, encontrando o significado de uma palavra no que há em comum entre todas as suas ocorrências, isto é, a intersecção entre os conjuntos de fragmentos de significado hipotetizados em diferentes ocorrências. Ao ouvir dois enunciados, “o João caiu” e “a Maria caiu”, emparelhados corretamente com CAIR(**João**) e CAIR(**Maria**), a criança é capaz de determinar que a intersecção entre os conjuntos de fragmentos {CAIR, **João**} e {CAIR, **Maria**} é o conjunto contendo {CAIR}. Certas regras de composição semântica, bem como mais ocorrências, permitirão a eventual aquisição da expressão conceitual<sup>5</sup> CAIR(*x*), que representa o significado pleno do verbo nessa abordagem.

Embora a inferência transituacional permita excluir fragmentos de significado, ela não é condição suficiente para garantir que um fragmento *deve* fazer parte do significado de uma palavra. Desse modo, Siskind propõe um terceiro princípio: a criança opera sob uma *restrição de cobertura* que pressupõe que o significado de um enunciado é estritamente derivado das palavras que o compõe. Se nenhuma outra palavra contribui com o sentido de CAIR, como é o caso em “a Maria caiu”, logo *caiu* deve conter o fragmento CAIR. Enquanto a inferência transituacional progressivamente diminui o conjunto dos fragmentos possíveis, a restrição de cobertura adiciona novos fragmentos ao conjunto daqueles necessários. O comportamento desses mecanismos é tal que, quando os conjuntos formados forem idênticos, os fragmentos que compõe o significado da palavra estão determinados. Finalmente, um quarto princípio,

---

<sup>5</sup> Siskind denomina os fragmentos de significado de *símbolos conceituais*, que podem ser arranjados em uma *expressão conceitual*, ou seja, uma estrutura hierárquica de símbolos conceituais. Verbos são modelados como sendo expressões conceituais com posições argumentais ou *variáveis* como *x*, *y* e *z*. Substantivos também são expressões decomponíveis, porém não têm variáveis.

chamado de *princípio de exclusão*, estipula que as palavras em um enunciado não se sobrepõem semanticamente, isto é, contribuem partes excludentes do significado. Na situação onde a criança determinou que o significado de *João* é **João**, ela ainda tem que determinar se *caiu* significa CAIR( $x$ ) ou CAIR(**João**). Como consequência dessa restrição, a criança poderá determinar que o significado correto é CAIR( $x$ ), pois **João** é derivado de outra palavra. Note que esse princípio coloca um problema para a aquisição em situações de concordância (FARIA, 2015), visto que alguns traços são realizados em dois ou mais itens lexicais. Por exemplo, no português, três palavras contribuem com o sentido de pluralidade no enunciado “os cachorros correram atrás do João”: *os*, *cachorros* e *correram*. Este problema não foi enfrentado por Siskind, entretanto, visto que ele não modela a aquisição de itens funcionais.

Siskind apresenta, então, um conjunto unificado de heurísticas para a aquisição de substantivos e verbos em face de incerteza referencial, homonímia e ruído. Esse conjunto de regras recebe um par de dados enunciado-significados onde o enunciado representa a saída da faculdade de segmentação da fala e os significados são hipóteses sobre o que pode ter sido dito geradas pela faculdade conceitual/perceptual. O modelo aprende as palavras em dois estágios: primeiramente, são determinados os seus fragmentos de significado, que adiante chamaremos de símbolos conceituais, e subsequentemente a maneira como eles se compõem em expressões conceituais. Assim, os símbolos conceituais componentes de *entrar*, a saber {IR, PARA, DENTRO}, são determinados e as várias combinações como IR( $x$  (PARA(DENTRO( $y$ ))), IR(PARA, DENTRO), DENTRO(IR( $x$ ) PARA( $x$ ,  $y$ ))) etc. são testadas.

A entrada lexical de uma palavra  $w$  consiste de três tabelas,  $P(w)$ ,  $N(w)$  e  $D(w)$ . As primeiras duas tabelas são utilizadas no primeiro estágio e contém, respectivamente, o conjunto de símbolos conceituais possíveis de  $w$  e o conjunto de símbolos conceituais necessários de  $w$ . No início do primeiro estágio, a tabela  $P(w)$  é o conjunto universo, ou seja, todos os símbolos conceituais contidos no vocabulário-alvo; já a tabela  $N(w)$  está vazia. Símbolos são progressivamente retirados do conjunto dos possíveis e adicionados ao conjunto dos necessários, conforme discutimos acima. Quando o conteúdo de  $P(w)$  e  $N(w)$  for idêntico, os símbolos conceituais de  $w$  foram determinados. Inicia-se, então, o segundo estágio. Todas as combinações possíveis desses símbolos em expressões conceituais são transferidas à tabela  $D(w)$  e oportunamente subtraídas, até que sobre apenas uma. Quando isso ocorre, diz-se que o modelo “convergiu na expressão conceitual que representa o significado de  $w$ ” (SISKIND, 1996, p. 56). Os estágios coexistem durante a execução do algoritmo, pois diferentes palavras podem estar em diferentes estágios de aquisição.

Em se tratando de um modelo computacional, os princípios discutidos anteriormente



são especificados formalmente. O procedimento heurístico desenvolvido por Siskind para casos sem homonímia e ruído é composto de seis regras que são aplicadas de maneira ordenada aos enunciados, um por vez. Para os propósitos deste artigo, iremos exemplificar o funcionamento dessas regras, sem nos preocupar com suas definições formais. Também por motivos de brevidade, não iremos tratar dos mecanismos adicionais que permitem ao modelo adquirir um léxico na presença de homonímia e ruído. Referimos o leitor ao texto original (SISKIND, 1996, p. 57–61) para uma explicação completa do modelo.

Digamos que nosso aprendiz apresente o seguinte léxico em estado de consolidação:

	<i>N</i>	<i>P</i>
<i>a</i>	{}	{cachorro}
<i>M</i>	{ <b>Maria</b> }	{ <b>Maria, João</b> }
<i>aria</i>		
<i>su</i>	{IR}	{IR, A, TOPO,
<i>biu</i>		<b>escadas</b> }
<i>as</i>	{}	{CAUSAR,
		QUERER}
<i>es</i>	{ <b>escadas</b> }	{ <b>escadas,</b>
<i> cadas</i>		<b>corrimão</b> }

Nesse momento, ele processa o enunciado (1) emparelhado das hipóteses de (2) a (4):

(1) “A Maria subiu as escadas.”

(2) IR(**Maria**, A(TOPO(**escadas**)))

(3) ANDAR(**Maria**)

(4) ESTAR(**Maria**, EM(**escadas**))

Caso seja possível, o primeiro passo do algoritmo será diminuir a incerteza referencial. Como vimos anteriormente, presume-se que todo o significado de um enunciado vem de suas palavras. As hipóteses (3) e (4) violam esse princípio, uma vez que (3) não contém o significado **escadas**, que é símbolo conceitual necessário da palavra *escadas*, ao passo que (4) contém dois significados, ESTAR e EM, que não são símbolos conceituais de nenhuma das palavras que constituem o enunciado. Logo, (3) e (4) são hipóteses inconsistentes e apenas (2) resta como fonte de significado para o enunciado (1). Segundo Siskind (p. 58), a incerteza referencial nem sempre será eliminada, porém o algoritmo é desenhado para extrair informações mesmo nessas

condições.

A seguir, é possível refinar o estado do léxico a partir da hipótese restante. O algoritmo observa que (2) não contém os símbolos conceituais **cachorro**, **João**, **corrimão**, CAUSAR e QUERER. Logo, esses símbolos conceituais não podem estar em  $P(w)$  de nenhuma palavra, de modo que o léxico resultante será:

	$N$	$P$
<i>a</i>	{}	{}
<i>M</i>	{ <b>Maria</b> }	{ <b>Maria</b> }
<i>aria</i>		
<i>su</i>	{IR}	{IR, A, TOPO,
<i>biu</i>		<b>escadas</b> }
<i>as</i>	{}	{}
<i>es</i>	{ <b>escadas</b> }	{ <b>escadas</b> }
<i> cadas</i>		

Nesse momento, as palavras *a*, *Maria*, *as* e *escadas* convergiram, pois os seus conjuntos  $N$  e  $P$  são idênticos.

O algoritmo agora irá determinar se poderá promover algum símbolo conceitual de  $P(w)$  para  $N(w)$  para alguma palavra  $w$  no enunciado. Uma vez que a hipótese (2) contém A e TOPO e apenas *subiu* pode contribuir com esses símbolos conceituais, eles devem ser símbolos necessários de *subiu*. Teremos então o léxico:

	$N$	$P$
<i>a</i>	{}	{}
<i>M</i>	{ <b>Maria</b> }	{ <b>Maria</b> }
<i>aria</i>		
<i>su</i>	{IR, A, TOPO}	{IR, A, TOPO,
<i>biu</i>		<b>escadas</b> }
<i>as</i>	{}	{}
<i>es</i>	{ <b>escadas</b> }	{ <b>escadas</b> }
<i> cadas</i>		

Finalmente, *subiu* não pode contribuir com o símbolo conceitual **escadas**, uma vez que ele aparece apenas uma vez na hipótese (2) e é parte necessária do significado da palavra *escadas*. Desse modo, ele poderá ser removido de  $P(\textit{subiu})$ . Todos os símbolos conceituais foram adquiridos e o estado do léxico é:

	$N$	$P$
<i>a</i>	{}	{}
<i>M</i>	{ <b>Maria</b> }	{ <b>Maria</b> }
<i>aria</i>		
<i>su</i>	{IR, A, TOPO}	{IR, A, TOPO}
<i>biu</i>		
<i>as</i>	{}	{}
<i>es</i>	{ <b>escadas</b> }	{ <b>escadas</b> }

*cadás*

Resta ainda definir qual é a expressão conceitual que representa o significado de cada uma dessas palavras. A princípio, uma infinidade de expressões é possível (p. 60). Por exemplo, *Maria* pode significar **Maria**, bem como **Maria**( $x$ ) ou **Maria**( $x, y$ ); já *subiu* pode ser qualquer uma das combinações possíveis com IR, A, TOPO: IR(A, TOPO), IR(A( $x$ , TOPO)), IR(A(TOPO( $x$ ))) etc. Dadas as regras de composição semântica que o modelo adota, apenas as expressões conceituais **Maria**, IR( $x$ , A(TOPO( $y$ ))) e **escada** são consistentes com a hipótese (2), de modo que o algoritmo é capaz de concluir a aquisição desses itens com sucesso. Nem sempre todas as palavras terão seus símbolos e suas expressões conceituais determinadas imediatamente como nesse exemplo, pois pode haver mais de uma expressão consistente com a hipótese em consideração. Assim, várias exposições à palavra podem ser necessárias antes que ela seja adquirida, particularmente nos momentos iniciais quando poucas ou nenhuma palavra é conhecida.

Quatro simulações foram executadas para testar a versão completa do algoritmo, que inclui mecanismos para a aquisição de palavras homônimas além de provisões contra o ruído. As três primeiras simulações foram projetadas para verificar a sensibilidade do modelo às diferentes variáveis, para verificar o crescimento do vocabulário em função do número de enunciados processados e para verificar a taxa de aquisição de novas palavras. Siskind relata (p. 72) que o modelo mostrou-se sensível à variações na taxa de homonímia e de ruído, mas não ao tamanho do vocabulário, incerteza referencial ou quantidade de símbolos conceituais; que apresentou comportamento compatível com o que se observa nas crianças, lentamente adquirindo as palavras iniciais e, em seguida, exibindo uma explosão na velocidade com que novas palavras são adquiridas; e que, congruente com fenômenos como o mapeamento rápido (CAREY; BARTLETT, 1978; GOLINKOFF et al., 1996), após ter processado cerca de 4.000 enunciados, o algoritmo é capaz de aprender palavras com uma ou duas exposições. Siskind caracteriza a última simulação como sendo uma aproximação da tarefa de aquisição lexical que a criança enfrenta. Os parâmetros foram um vocabulário de 10.000 palavras, incerteza referencial igual a 10 hipóteses por enunciado, um inventário de 250 símbolos conceituais, taxa de homonímia igual a 1,68 e ruído igual a 5% (de pares enunciado-hipóteses ruidosos). Após processar cerca de 1,5 milhões de enunciados, o algoritmo havia aprendido 80,7% das palavras, com os restantes 19,2% contabilizados como falsos negativos, isto é, itens faltando no vocabulário em construção. O total de falsos positivos, itens que haviam sido erroneamente adquiridos, ficou em 12,2%. Segundo o autor, embora as demais simulações tivessem sido executadas até atingir uma convergência de 95% do vocabulário, esse último experimento foi abortado por questões de limitação computacional.

Por conta da natureza dos dados de entrada, o modelo foi alimentado com um corpus sintético que permite a variação dos parâmetros descritos acima, além do MLU<sup>6</sup>. Assim, parte do algoritmo é responsável por gerar enunciados, que não passam de símbolos representando palavras, por exemplo,  $w_1, w_2 \dots w_n$ , emparelhados de expressões conceituais que representam as hipóteses de significado, por exemplo,  $f_1(x, f_2(f_3(y)))$ . A distribuição das palavras no corpus foi controlada seguindo a Lei de Zipf, de modo uma minoria das palavras é mais frequente do que a maioria, que aparece na cauda longa da distribuição. A decisão de usar como entrada um corpus gerado artificialmente é criticada por Fazly et al. (2010), que propõe um modelo probabilístico da aquisição lexical com dados naturalísticos. Pelo menos em tese, essa crítica é justificável. Em princípio, um corpus de fala dirigida à criança pode exibir propriedades diferentes das previstas na especificação de um corpus sintético.

Por exemplo, para cada palavra na simulação final de Siskind há em média 1,68 homônimos (SISKIND, 1996, p. 81); essa taxa é configurada com base no grau de homonímia encontrado na WordNet (MILLER, 1995). A aproximação pode não ser muito naturalística, uma vez que a WordNet é construída a partir de diversas modalidades e gêneros textuais. Por outro lado, o modelo tampouco reflete a realidade de que a maior parte dos enunciados na fala é repleta de pausas, reformulações e esquecimentos. As representações semânticas no modelo de Siskind exprimem apenas enunciados completos e não fragmentários e, sem modificação, o algoritmo funciona apenas enquanto esse princípio estiver intacto (p. 85).

Assim, o impacto de um corpus naturalístico sobre o modelo aqui revisado ainda é uma questão em aberto. Para isso, seria necessário definir que propriedades desse corpus seriam relevantes ao problema da aquisição lexical. Tal como está posto, a utilização de palavras reais não adicionaria complexidade ao problema formal do mapeamento, porém sua distribuição pode ser um fator importante. Novamente, o caráter fragmentário dos enunciados reais, bem como a diversidade enunciativa que vai além das sentenças afirmativas, exigiria uma revisão do algoritmo. Além disso, a principal dificuldade que o corpus sintético dribla é a criação de enunciados pareados com hipóteses de significado. Exceto pela anotação manual, não é claro como extrair representações do significado a partir de um corpus real. Finalmente, a inclusão de itens funcionais, que seriam abundantes em tal corpus, coloca um problema adicional, se considerarmos os resultados relatados por Faria (2015).

Como vimos anteriormente, a versão completa do algoritmo aqui descrito contém mecanismos provisionais para a aquisição lexical na presença de homonímia e ruído. Fazly et al. (2010) observam que a necessidade dessas regras é uma consequência direta dos princípios

---

<sup>6</sup>*Mean Length of Utterance* (Comprimento Médio do Enunciado), medido em palavras.

da cobertura e exclusão mútua. Como alternativa, os autores apresentam um modelo transituacional probabilístico que, segundo os autores, por empregar regras probabilísticas mais gerais, faz menos suposições e é portanto mais parcimonioso. O resultado notável é que o algoritmo é muito menos sensível ao ruído que à incerteza referencial (p. 1036), em oposição direta à Siskind. A aquisição em condição de homonímia também é estudada, sem que o algoritmo precise de modificações. Fazly et al. relatam que há uma resistência na aquisição de homônimos quando a palavra já tem um significado ao qual é fortemente associada, ou seja, uma palavra familiar. No entanto, quando a palavra não é familiar, os dois significados entram em competição por uma pontuação de associação mais rapidamente. Os autores interpretam esse resultado como evidência contrária ao viés cognitivo da exclusividade mútua (MARKMAN, 1990), sugerindo que a força associativa entre uma palavra familiar (e não uma tendência para supor que cada palavra tem apenas um referente) é a causa do mapeamento rápido e da dificuldade das crianças em adquirir homônimos. O desafio central nessa comparação entre modelos é não confundir alhos com bugalhos. A contradição entre os resultados encontrados por Farzly et al. e Siskind, por exemplo, torna a crítica aos mecanismos específicos contra ruído e homonímia possivelmente menos relevante, na medida em que os modelos exibem comportamentos diferentes. Uma porta se abre, entretanto, para investigar experimentalmente qual dos dois fatores tem maior impacto na aquisição lexical. É ainda importante ressaltar que Fazly et al. simplificam a representação semântica, apagando as diferenças entre a aquisição de verbos e substantivos, além de deixar de lado as dificuldades postas por uma semântica composicional, pois tomam as palavras como átomos de significado.

Note ainda que o modelo de Siskind não inclui nenhuma noção de decomposição morfológica, visto que as palavras em seu corpus sintético são átomos do tipo *W<sub>indice</sub>*. Desse modo, testado contra um corpus naturalístico, tratará as palavras *laranja* e *laranjas* como itens lexicais distintos. Faria (2015) realiza testes com corpora do inglês e português brasileiro, relatando uma grande disparidade de eficiência se comparado aos experimentos originais. O léxico do inglês contava com 91 palavras e uma convergência igual a 95,6%; compare com um léxico do PB com 133 palavras e convergência igual a 52,6%. A diferença pode ser atribuída a uma série de fatores, pois Faria estende o modelo para simular também a aquisição em condições de polissemia e não controla a distribuição dos corpora utilizando a Lei de Zipf, como fez Siskind. Uma terceira hipótese, no entanto, é a maior esparsidade das palavras em PB se comparadas ao inglês (p. 52), em função da morfologia flexional. Essa constitui uma outra via aberta para exploração, em especial se associada a um corpus naturalístico de fala dirigida à criança.

A modelagem de sistemas complexos que se interagem não é uma tarefa trivial. Primeiramente, há a dificuldade de exprimir noções teóricas, como a aprendizagem transituacional, em uma linguagem formal como exige a computação. A seguir, mesmo um recorte bastante preciso do problema não evita outras complicações. Por exemplo, não é imediatamente óbvio qual a taxa de incerteza referencial e ruído que plausivelmente representam a realidade da aquisição lexical. Finalmente, as concessões que os modelos sem dúvidas terão de fazer deixam uma série de questões em aberto. Dentre outras, vimos que alguns aspectos do estudo de Siskind (1996), como a escolha de um corpus artificial e as complexidades postas ao algoritmo por uma língua morfologicamente mais complexa constituem pontos de partida para a pesquisa futura.

#### REFERÊNCIAS

- BALDWIN, D. A. Understanding the link between joint attention and language. In: *Joint attention: Its origins and role in development*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1995. p. 131–158.
- CAREY, S. The Child as a Word Learner. In: HALLE, M.; BRESNAN, J.; MILLER, G. (Eds.). *Linguistic theory and psychological reality*. Cambridge, MA: The MIT Press, 1978.
- CAREY, S.; BARTLETT, E. Acquiring a single new word. *Papers and Reports on Child Language Development*, v. 15, p. 17–29, 1978.
- DROMI, E. Early lexical development. In: *The development of language*. Studies in developmental psychology. New York, NY, US: Psychology Press, 1999. p. 99–131.
- FARIA, P. A Computational Study of Cross-situational Lexical Learning of Brazilian Portuguese. Proceedings of the Sixth Workshop on Cognitive Aspects of Computational Language Learning. *Anais...* In: PROCEEDINGS OF THE SIXTH WORKSHOP ON COGNITIVE ASPECTS OF COMPUTATIONAL LANGUAGE LEARNING. Lisbon, Portugal: Association for Computational Linguistics, 2015. Disponível em: <<http://aclweb.org/anthology/W15-2408>>. Acesso em: 24 set. 2018
- FAZLY, A.; ALISHAHI, A.; STEVENSON, S. A Probabilistic Computational Model of Cross-Situational Word Learning. *Cognitive Science*, v. 34, n. 6, p. 1017–1063, 13 maio 2010.
- FISHER, C. et al. When it is better to receive than to give: syntactic and conceptual constraints on vocabulary growth. *Lingua*, v. 92, p. 333–375, abr. 1994.
- GOLINKOFF, R. M. et al. Lexical Principles May Underlie the Learning of Verbs. *Child Development*, v. 67, n. 6, p. 3101–3119, dez. 1996.
- INGRAM, D. *First language acquisition: method, description, and explanation*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999.
- JACKENDOFF, R. *Semantics and cognition*. Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1983.

LANDAU, B.; GLEITMAN, L. R. *Language and experience: evidence from the blind child*. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1985.

MARKMAN, E. M. Constraints Children Place on Word Meanings. *Cognitive Science*, v. 14, n. 1, p. 57–77, jan. 1990.

MILLER, G. A. WordNet: A Lexical Database for English. *Commun. ACM*, v. 38, n. 11, p. 39–41, nov. 1995.

NAIGLES, L. Children use syntax to learn verb meanings. *Journal of Child Language*, v. 17, n. 02, p. 357, 1990.

PEARL, L. Chapter 8. Using computational modeling in language acquisition research. In: BLOM, E.; UNSWORTH, S. (Eds.). *Language Learning & Language Teaching*. Amsterdam: John Benjamins Publishing Company, 2010. v. 27, p. 163–184.

PINKER, S. *Learnability and cognition: the acquisition of argument structure*. New ed. Cambridge, MA: The MIT Press, 2013.

QUINE, W. VAN N. *Word and Object*. Cambridge, MA: The MIT Press, 1960.

SISKIND, J. M. A computational study of cross-situational techniques for learning word-to-meaning mappings. *Cognition*, v. 61, n. 1–2, p. 39–91, out. 1996.