

Computação, Linguagem e Ciência da Cognição¹

Computing, Language, and Cognitive Science

João Luís Garcia ROSA*

ABSTRACT

Cognitive Science is influenced by the ideas and techniques of computing. The role of computing on understanding human cognition is discussed by Pylyshyn [1]. From the universal Turing machine to nowadays computers, there is a distinction between processor and memory, the so called *classical view*, that explains the “language of thought” of cognitive architectures. And, in relation to the language, there is also an external relationship between the grammatical processing system and others cognitive systems.

KEYWORDS: Cognitive Science, Language, Computing, Artificial Intelligence.

RESUMO

A Ciência da Cognição é influenciada pelas idéias e técnicas da computação. O papel da computação no entendimento da cognição humana é discutido por Pylyshyn [1]. Da máquina de Turing universal aos computadores atuais, existe uma distinção entre processador e memória, a chamada *visão clássica*, que explica a “linguagem do pensamento” de arquiteturas cognitivas. E, em relação à linguagem, existe também um relacionamento externo entre o sistema de processamento gramatical e outros sistemas cognitivos.

PALAVRAS-CHAVE: Ciência da Cognição, Linguagem, Computação, Inteligência Artificial.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Pylyshyn [1], a Ciência da Cognição é influenciada pelas idéias e técnicas da computação. A idéia de que a computação é importante para entender a cognição, ou o comportamento inteligente em geral, é tão an-

tiga quanto a própria computação. Pylyshyn discute o papel da computação no entendimento da cognição humana. Mas o que é a computação? Que família de processos pretende-se cobrir com este termo? Os computadores são relevantes para a cognição de várias formas. A cognição é literalmente uma

¹ Artigo publicado na *Revista do Instituto de Informática da PUC-Campinas*, Volume 4, No. 2, Julho/Dezembro 1996, 36-44.

* Professor do Instituto de Informática da PUC-Campinas e doutor em Psicolinguística Computacional pelo IEL-Unicamp. E-mail: joaol@ii.puc-campinas.br

espécie de computação, executada por um determinado tipo de mecanismo biológico. Quais são as metodologias disponíveis para validar modelos computacionais como modelos *fortes* de processos cognitivos?

No nível mais abstrato, a classe de mecanismos chamados *computadores* são os únicos mecanismos conhecidos que são suficientemente flexíveis em seu comportamento para representar a plasticidade da cognição humana. Também são os únicos mecanismos conhecidos capazes de produzir comportamento que pode ser descrito como *dependente de conhecimento*.

Num nível mais concreto, os computadores provêm uma forma de tratar com vários problemas que atrapalham o entendimento da cognição. Entre eles, estão a complexidade dos processos que envolvem a cognição e a necessidade de uma teoria que faça a ligação entre o processamento interno e instâncias reais do comportamento, ou seja, satisfaça a *condição de suficiência*, segundo Pylyshyn [1].

2. MÁQUINAS DE TURING

Como se pode caracterizar o conjunto de funções computadas por programas de computador? Esta questão - quais funções são realizáveis por algoritmos e quais não são? - tem suas raízes mais diretas no trabalho de Alan Turing nos anos 30 [2]. Usando, o que agora se chama de modelo de máquina de Turing, Turing mostrou que certos problemas naturais em computação não podem ser computados por nenhum algoritmo, real ou imaginado. De fato, Turing apenas mostrou que estes problemas não são calculáveis especificamente por máquinas de Turing; mais tarde as investigações de outros pesquisadores concluíram que a computabilidade de Turing é sinônimo da computabilidade em qualquer outro sistema algorítmico suficientemente poderoso.

Uma máquina de Turing T pode ser descrita (Figura 1) como um controle de estado finito equipado com um dispositivo de armazenamento externo na forma de uma fita finita que pode ser estendida indefinidamente em ambas as direções.

Como mostrado na Figura 1, a fita é dividida em quadrados. Cada quadrado da fita pode estar em branco ou pode carregar qualquer símbolo de um alfabeto de fita finita X especificado. Por conveniência, um símbolo especial (aqui, a letra B) que não pertence a X é reservado para denotar um quadrado em branco na fita. Então, na Figura 1, todos os quadrados estão em branco exceto cinco, que possuem os símbolos a ou b . O controle do estado finito é acoplado à fita através de uma cabeça de leitura/escrita. Em um determinado instante, a cabeça estará percorrendo um quadrado da fita e o controle de estado finito estará em um estado. Dependendo deste estado e do símbolo do quadrado percorrido pela cabeça da fita, a máquina irá, em um passo, fazer o seguinte:

- 1) Entrar em um novo estado do controle de estado finito;
- 2) Sobrescrever um símbolo no quadrado percorrido (é possível sobrescrever o mesmo símbolo e portanto deixar o quadrado da fita sem mudar, ou sobrescrever com um B e “apagar” o símbolo da fita);
- 3) Deslocar a cabeça para esquerda ou para a direita um quadrado, ou não deslocar nada.

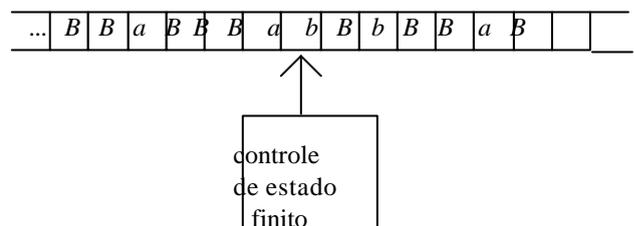


Figura 1. Uma máquina de Turing: A fita pode ser estendida indefinidamente pela adição de B 's (brancos) em qualquer lado [3].

Como o alfabeto da fita é finito e o controle de estado finito tem finitamente muitos estados, a operação de uma máquina de Turing pode ser completamente descrita por um conjunto finito de quintuplas da forma (estado antigo, símbolo percorrido, estado novo, símbolo escrito, direção de movimento).

3. FORMALISMOS, SÍMBOLOS E MECANISMOS

A possibilidade de imitar a vida através de artefatos tem intrigado as pessoas através da história. Mas apenas na segunda metade deste século, através de um tipo especial de artefato chamado computador, considerou-se seriamente um meio de entender os fenômenos mentais.

Houve, então, a possibilidade de imitação de certos processos internos não observáveis. As operações são definidas abstratamente, como armazenamento, recuperação e alteração de *tokens* de códigos simbólicos.

A lógica tornou-se um jogo com *tokens* de símbolos sem significado, de acordo com certas regras formais (isto é, regras sintáticas).

O desenvolvimento da noção de universalidade do mecanismo formal forneceu o ímpeto inicial para entender a mente como um sistema de processamento de símbolos. Uma máquina universal pode ser *programada* para computar qualquer função especificada formalmente.

Para Newell [4], a característica essencial para que um dispositivo seja universal ou programável, é que suas entradas sejam particionadas em dois componentes distintos: instruções (função de entrada e saída) e a entrada para a função.

Devido à plasticidade no comportamento, os computadores são artefatos capazes de exibir “inteligência”. Segundo Turing [5], um computador pode em princípio ser construído para exibir atividade inteligente a

um grau arbitrário. Uma máquina poderia ser qualificada como inteligente se pudesse jogar com sucesso o “jogo da imitação”, isto é, enganar um observador humano, com quem poderia se comunicar apenas através de um teclado e terminal, tal que o observador não poderia discriminar entre a máquina e outra pessoa (o chamado *teste de Turing*).

4. A VISÃO CLÁSSICA DA COMPUTAÇÃO E COGNIÇÃO

Na máquina teórica original de Turing e em todo computador digital real, é feita uma distinção entre o *processador* e a *memória*. O processador “escreve” expressões simbólicas na memória, altera-as e as “lê”. A memória pode consistir de uma fita, um conjunto de registradores ou qualquer forma de armazenamento de trabalho. As expressões escritas são símbolos complexos que são construídos a partir de símbolos mais simples. O processador transforma estas expressões em novas expressões de uma forma especial e sistemática. A *forma* como as expressões simbólicas são transformadas em um computador clássico é muito importante. As expressões simbólicas têm uma semântica, ou seja, contêm *códigos* para alguma coisa ou elas *significam* alguma coisa.

Se as expressões simbólicas são códigos para proposições, crenças ou conhecimento, como elas deveriam ser se fossem expressões em alguma lógica simbólica, então o computador deve transformá-las em formas correspondentes a provas ou inferências, ou talvez, a seqüências de “pensamentos” que ocorrem durante o raciocínio de senso comum. O importante é que, de acordo com a visão clássica, certos tipos de sistemas, incluindo mentes e computadores, operam em *representações* que tomam a forma de códigos simbólicos.

Para resumir, a visão clássica assume que mentes e computadores têm no mínimo

três níveis distintos de organização [1]. Esta organização define o que é chamada por *arquitetura computacional clássica* ou *cognitiva*. Para explicar o comportamento humano inteligente, precisa-se recorrer aos três níveis de organização:

- 1) *O nível semântico (ou de conhecimento)*. Neste nível, explica-se porque as pessoas, ou os computadores apropriadamente programados, fazem certas coisas de acordo com o que elas conhecem ou com suas metas e mostram que estas são conectadas de certas formas com sentido ou mesmo racionais. Precisa-se do nível de conhecimento para explicar porque certas metas e crenças tendem a levar a certos comportamentos, e porque os comportamentos podem ser mudados de forma racional, quando novas crenças são adicionadas.
- 2) *O nível simbólico*. O conteúdo semântico de conhecimento e metas é assumido codificado por expressões simbólicas. Tais expressões estruturadas têm partes, cada qual também codificando algum conteúdo semântico. Precisa-se do nível de símbolos para explicar coisas como porque algumas tarefas são mais demoradas ou resultam em mais erros do que outras. Este tipo de maleabilidade do comportamento é conhecido como *penetrabilidade cognitiva*.
- 3) *O nível físico (ou biológico)*. Para que o sistema inteiro funcione, é necessário ser realizado em alguma forma física. A estrutura e os princípios pelos quais os objetos físicos funcionam correspondem ao nível físico ou biológico. Precisa-se, obviamente, do nível biológico para explicar coisas como os efeitos das drogas, retardamento ou danos ao cérebro no comportamento.

5. OBJEÇÕES À VISÃO CLÁSSICA

Muitos acham absurda a idéia de que o cérebro pense através da escrita e leitura de símbolos, influência forte dos computadores eletrônicos.

Para os lógicos Turing [2], Frege [6] e outros, o conhecimento é *codificado* em um sistema de códigos simbólicos, fisicamente realizados, e as propriedades físicas dos códigos causam os comportamentos.

Fodor e Pylyshyn [8] adicionaram um argumento segundo o qual o sistema de códigos deva ser *estruturado* como uma linguagem.

A pesquisa em processamento de informação humana revela incontáveis processos que claramente devem estar ocorrendo (por exemplo, *parsing* ou inferência) dos quais tem-se pouco ou nenhum conhecimento. Existem muitos argumentos para a necessidade de assumir, como verdade, a existência de estruturas de símbolo no raciocínio humano - uma "linguagem do pensamento".

O uso de expressões simbólicas estruturadas, para representar conhecimento e para servir como base para inferência, é um efeito colateral de uma arquitetura clássica. Em contraste, é uma propriedade que deve ser estipulada e reforçada pela teoria (isto é, é um parâmetro empírico livre) em outras arquiteturas não simbólicas, tais como as chamadas arquiteturas conexionistas.

6. CONTROLE

A construção de um modelo, que vem de encontro à condição de suficiência de Pylyshyn [1], força o confronto do problema de como e sob quais condições as representações internas e as regras são convocadas no curso das ações de geração. Estas questões dizem respeito ao *controle* do processo.

Na ciência da computação e na inteligência artificial existe um grande interesse em esquemas de controle diferentes - alguns que possam mudar o pensamento de psicólogos sobre a faixa de possibilidades disponível para converter representações em ações.

E, porque o controle é uma das áreas centrais de estudo em ciência da computação, o progresso no desenvolvimento de modelos

computacionais de processos cognitivos dependerá de idéias técnicas originárias da ciência da computação (e mais particularmente, da inteligência artificial).

Uma variedade de estruturas de controle diferentes pode ser caracterizada em termos de duas distinções: (1) entre *enviar* controle (onde a iniciativa parte do local *antigo*) e *capturar* controle (onde a iniciativa parte do local *novo*), e (2) entre *direcionar* uma mensagem a um local específico e *transmitir* a mensagem a todas as rotinas ou “módulos” de uma só vez. Por exemplo, no caso da hierarquia de subrotinas padrão, o controle é sempre *enviado* (pela rotina que já o possui), e uma mensagem (contendo parâmetros e um endereço de retorno) é *direcionada* especificamente à rotina a quem está sendo dado controle; e quando a submeta é alcançada, o controle é *enviado* de volta, juntamente com uma mensagem de resultado. Em chamadas de procedimentos baseados em padrão, tais como usadas em Prolog, quando uma tarefa precisa ser realizada, uma mensagem descrevendo a meta é transmitida e o controle é então capturado por algum módulo projetado para responder àquela particular mensagem (controle *blackboard*). Os sistemas de produção são casos especiais de chamadas de procedimentos baseados em padrão.

Muitas das considerações no projeto de novas arquiteturas se reduzem às seguintes três questões: (1) como habilitar a comunicação flexível e efetiva entre diferentes processos ou módulos, (2) como assegurar que toda informação relevante influencie na tomadas de decisões e inferências, e (3) como segurar e retardar a tomada de decisões até o tempo apropriado.

Para especificar em detalhes que sequência de passos o sistema vai seguir seria necessário alguma coisa como um *algoritmo* para o processo. Por exemplo, existem vários algoritmos bem conhecidos para vários tipos de aproximações numéricas para funções,

para analisar linguagens livres de contexto, etc.

A estrutura funcional (em oposição à anatômica) da máquina - ou o que se chama sua *arquitetura funcional* ou apenas *arquitetura* - representa a definição teórica no nível da especificidade (ou nível de agregação) no qual são vistos os processos cognitivos. Especificar a arquitetura funcional de um sistema é como prover um manual definindo alguma determinada linguagem de programação.

7. ALGORITMOS E ARQUITETURA COGNITIVA

Os algoritmos cognitivos, o conceito central em psicologia computacional, são executados pela arquitetura cognitiva. Os dispositivos com arquiteturas funcionais diferentes não podem, em geral, executar *diretamente* os mesmos algoritmos. Mas os típicos computadores disponíveis comercialmente têm uma arquitetura que difere significativamente em detalhes da arquitetura do cérebro. Daí, espera-se que a construção de um modelo de computador da arquitetura mental seja primeiro *emulada* (isto é, modelada a si mesmo) antes que o algoritmo mental possa ser implementado.

A distinção entre executar diretamente um algoritmo e executá-lo primeiro emulando alguma outra arquitetura funcional é crucial para a ciência cognitiva. Isto vai de encontro à questão central de quais aspectos da computação podem ser tomados literalmente como parte do modelo e quais aspectos são considerados apenas como detalhes de implementação.

Existe um grande conjunto de propriedades formais disponíveis em todas as arquiteturas de computadores porque todas elas usam expressões numéricas para registrar nomes e porque têm operações aritméticas primitivas. Mas estas propriedades são parte de tais arquiteturas por razões que não têm nada a ver com as necessidades teóricas da

ciência cognitiva. Quando estas características são exploradas na construção de modelos cognitivos, assume-se que tais operações são parte da arquitetura cognitiva da mente.

A existência de estados representacionais intermediários pode algumas vezes ser inferido de formas indiretas. Um bom exemplo ocorre em Psicolinguística, no estudo do processamento de sentenças em tempo real. Existe evidência indireta para a disponibilidade de certos componentes da análise sintática no curso da compreensão da sentença. Qualquer evidência da disponibilidade de estados intermediários de um processo para qualquer outro processo (isto é, qualquer evidência que os trabalhos do processo são “transparentes” a uma outra parte do sistema) pode ser tomada como uma evidência de que o processo não seja primitivo mas que tenha uma decomposição cognitiva.

Consideram-se outros dois critérios, baseados empiricamente, para decidir se certos aspectos de regularidades do comportamento devam ser atribuídas a propriedades de mecanismos - isto é, à arquitetura cognitiva - ou às representações e processos operando nelas. O primeiro destes critérios deriva das considerações computacionais e define uma noção de equivalência forte de processos, referida como *complexidade-equivalência*. Este critério é freqüentemente associado com o uso de medidas de tempo de reação, ou com medidas *on-line* como aquelas que avaliam a demanda de atenção de tarefas.

O segundo critério ajuda a decidir se um fenômeno empírico particular deve ser atribuído à arquitetura ou às metas e crenças. Em geral, mostrar que certos fenômenos empíricos são sensíveis a metas e crenças (ou o que se chama de *penetrável cognitivamente*) é, à primeira vista, evidência de que eles não devam ser atribuídos a propriedades da arquitetura.

8. PENETRABILIDADE COGNITIVA

Para determinar se certas evidências empíricas favorecem certas propriedades da arquitetura hipotetizada do sistema cognitivo, a questão natural é perguntar se a evidência é compatível com algumas outras propriedades diferentes da arquitetura. Uma forma de se fazer isto é ver se os fenômenos empíricos em questão podem ser sistematicamente alterados pela mudança das metas e crenças dos sujeitos. Se puderem, então isto sugere que os fenômenos fornecem não informações sobre a arquitetura mas sim sobre algum processo governado por representação - alguma coisa que, em outras palavras, permaneceria verdadeiro mesmo se a arquitetura fosse diferente daquela hipotetizada.

Os modelos cognitivos não são modelos de como o cérebro realiza processos no tecido neural, e sim teorias que descrevem mecanismos *cognitivos* que processam *representações cognitivas*.

Quando se faz inferências sobre a natureza do algoritmo a partir de dados de tempo de reação (ou qualquer outra medida *física*), depende-se sempre da validade de hipóteses auxiliares. Tais hipóteses poderiam, em princípio, serem falsas.

9. NECESSIDADES DA ARQUITETURA COGNITIVA

Todas as arquiteturas provêm programabilidade, que leva ao comportamento flexível. Necessita-se entender as necessidades que moldam a cognição humana, especialmente além da necessidade da computação universal. A arquitetura cognitiva deve prover o suporte necessário para todas as seguintes necessidades [9]:

- 1) Comportar-se flexivelmente como uma função do ambiente;
- 2) Exibir comportamento adaptativo (racional, orientado à meta);
- 3) Operar em tempo real;

- 4) Operar em um ambiente rico, complexo e detalhado
 - a) perceber detalhes de mudança,
 - b) usar grandes quantidades de conhecimento,
 - c) controlar um sistema motor de muitos graus de liberdade;
- 5) Usar símbolos e abstrações;
- 6) Usar linguagem, natural e artificial;
- 7) Aprender a partir do ambiente e da experiência;
- 8) Adquirir capacidades através do desenvolvimento;
- 9) Viver autonomamente dentro de uma comunidade social;
- 10) Exibir auto-consciência e auto-senso.

A cognição humana pode ser definida como um sistema de processamento de informação que é uma solução para todas as necessidades listadas acima e talvez mais outras que ainda não se conhece.

Necessidades funcionais não são as únicas fontes de conhecimento sobre a arquitetura cognitiva. Sabe-se que a arquitetura cognitiva é realizada em tecnologia neural que é criada pela evolução.

A natureza da arquitetura cognitiva é dada em termos de funções ao invés de estruturas e mecanismos. O caráter puramente funcional da arquitetura é especialmente importante quando se sai dos computadores digitais atuais e se entra na cognição humana. Lá uma tecnologia básica de sistema (circuitos neurais) e tecnologia de construção (evolução) são muito diferentes, tal que pode-se esperar que as funções sejam realizadas de formas diferentes daquelas da tecnologia digital atual.

A seguinte lista fornece funções conhecidas da arquitetura cognitiva [9]:

- 1) Memória: estruturas que persistem ao longo do tempo. Em computadores existe uma hierarquia de memória. Esta hierarquia é caracterizada por constantes de tempo (velocidade de acesso, velocidade de es-

crita) e capacidade de memória, em relação inversa - quanto mais lenta a memória, maior a sua capacidade. A memória de maior capacidade e de longo termo satisfaz o requisito para a grande quantidade de memória necessária para a cognição humana.

- 2) Símbolos: Os *tokens* de símbolos são padrões nas estruturas de símbolos que provêem *acesso* às estruturas de memória distal, isto é, a estruturas em qualquer lugar da memória.
- 3) Operações: O sistema é capaz de realizar *operações* em estruturas de símbolos para compor novas estruturas de símbolos. Existem muitas variações em tais operações em termos do que é feito para construir novas estruturas ou modificar velhas estruturas e em termos de como depender de outras estruturas de símbolos.
- 4) Interpretação: Algumas estruturas (não todas) têm a propriedade de determinar que uma seqüência de operações de símbolos ocorre em estruturas de símbolos específicas. Estas estruturas são chamadas de *códigos*, *programas*, *procedimentos*, *rotinas* ou *planos*. O processo de aplicar as operações é chamado *interpretação* da estrutura de símbolo.
- 5) Interação com o mundo externo, como interfaces perceptuais e motoras, *bufferização* e interrupções, demandas para ação em tempo real e aquisição contínua de conhecimento.

10. SISTEMAS DE SÍMBOLOS

A função central da arquitetura é dar suporte a um sistema capaz de computação universal, ou seja, as funções listadas acima [9] são aquelas necessárias para prover esta capacidade. Deve-se ser capaz de gerar esta lista simplesmente analisando as máquinas universais existentes. Entretanto, existem muitas variedades de sistemas universais. Máquinas de Turing [2], máquinas de registradores, fun-

ções recursivas, redes neurais de Pitts-McCulloch [10] e outras organizações de computadores digitais.

Os primeiros quatro itens da lista de funções fornece a capacidade para um sistema de símbolos: *memória*, *símbolos*, *operações* e *interpretação*. Entretanto, nenhuma destas funções é uma *representação* do mundo externo. Os símbolos provêm uma função de representação interna, mas a representação do mundo externo é uma função do sistema computacional como um todo, tal que a arquitetura suporta tal representação, mas não a provê.

Os sistemas de símbolos são componentes de um sistema maior, abrangente, que vive num mundo dinâmico real e sua função principal é criar interações apropriadas deste sistema maior com este mundo. As interfaces do sistema maior com o mundo são dispositivos sensoriais e motores. Algumas funções comuns destas interfaces podem ser identificadas. A primeira é relativamente óbvia - a arquitetura deve prover as interfaces que conectam os dispositivos sensoriais e motores ao sistema de símbolos.

A segunda vem da assincronia entre os mundos interno e externo. Os sistemas de símbolos são um ambiente interior, protegido do mundo externo, no qual o processamento de informação do organismo em serviço pode acontecer. Uma implicação é que o mundo externo e o mundo simbólico interno são assíncronos. Então deve haver *bufferização* de informação entre os dois em ambas as direções. Deve haver também mecanismos de *interrupção* para tratar da transferência de processamento entre as várias fontes de informação assíncronas.

A terceira função vem da característica de demanda em tempo real do mundo externo. Uma implicação para a arquitetura é uma capacidade de interrupção, tal que o processamento possa ser chaveado no tempo para novas demandas.

A quarta função vem de uma implicação de um ambiente mutável - o sistema não pode conhecer a priori tudo que ele precisa sobre tal ambiente. Entretanto, o sistema deve continuamente adquirir conhecimento do ambiente e fazer isto em constantes de tempo ditadas pelo ambiente.

11. EXPLORANDO A ARQUITETURA DO SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE LINGUAGEM

Existe, é claro, um “módulo de linguagem” no cérebro e uma Gramática Universal deve estar ligada a ele desde o início, segundo o lingüista Noam Chomsky [12]. A Gramática Universal é um programa biológico da predisposição para descobrir determinadas gramáticas, a partir de um conjunto muito grande [13]. Os lingüistas gostariam de entender como as sentenças são geradas e compreendidas de uma forma “automática”. Jackendoff [14] comenta a nossa capacidade de falar e entender sentenças novas como a necessidade de armazenar não apenas as palavras da nossa língua, mas também os padrões de sentenças possíveis. Os lingüistas se referem a estes padrões como regras da linguagem na memória. A coleção completa de regras é a gramática mental.

Ainda não se tem um conhecimento seguro da estrutura do mecanismo humano do processamento de linguagem a despeito do progresso no estudo das representações e princípios envolvendo o acesso lexical e a análise sintática. A distinção dos princípios empregados para o acesso lexical versus análise sintática sugere que mecanismos distintos, ou até subsistemas de processamento distintos, estão envolvidos.

Quanto à relação externa entre o sistema de processamento gramatical e outros sistemas cognitivos, existe no mínimo uma teoria geral destas relações, a proposta de Fodor [15] de que a arquitetura mental humana é modular e consiste de sistemas de entrada

sensíveis apenas à informação limitada específica do domínio, e não ao conhecimento *top-down* de uma variedade independente do domínio.

Evidências mostram que o processamento de estruturas de constituintes de sentenças é serial e que o conhecimento do mundo influencia a reanálise de algumas estruturas. É mais difícil argüir que a reanálise dependa do sistema de processamento central e não do processador de linguagem. Ainda que, fazendo esta assunção, requereria que o conhecimento e mecanismos do processador da linguagem deva ser duplicado no sistema de processamento central. Parece que o conhecimento gramatical deve estar disponível fora do sistema de linguagem assim como dentro dele.

Seja a proposta de arquitetura da figura 2 [16]:

sistema central	referência	ligação	irmandade
	predicação theta	estrutura-c	c-comando

Figura 2. Sistema de Compreensão da Linguagem. (Frazier [16]).

Os tipos de argumentos dão suporte ao encapsulamento ou solução modular proposta para capturar as similaridades entre processos gramaticais sintáticos e não sintáticos. Primeiro, na ausência de influências extralingüísticas pragmáticas, existem preferências gerais, sistemáticas e estruturais na análise atribuída a uma entrada ambígua. Segundo, em tarefas que permitem sujeitos, muitas vezes a informação não sintática parece prevalecer sobre as preferências estruturais. Terceiro, em algumas estruturas, uma análise sintática preferida será conscientemente detectada mesmo se for pragmaticamente menos plausível que a alternativa. Finalmente, a visão modular oferece uma explicação para o porquê de certas estruturas serem mais rápidas e prontamente

influenciadas por informação semântica do que outras.

As evidências experimentais disponíveis sugerem que princípios de processamento *distintos* podem ser aplicados a (1) dependências de movimento, (2) coindexação de frases *qu* ligadas (frases, como *qual menina*, que parecem suportar o índice referencial de uma entidade de discurso), (3) ligação reflexiva e (4) controle.

A partir da modularização do sistema de compreensão de linguagem ilustrado na figura 2, vários modelos incompatíveis poderiam ser desenvolvidos pelo estabelecimento de várias relações entre os módulos. Ao invés disto, pode-se explorar a idéia de que nenhum princípio de arquitetura mental ou linguagem estipula as relações entre os módulos.

Recursos computacionais restritos podem reduzir o sistema de linguagem efetivo a um par de módulos: quando a tarefa requer julgamentos puramente gramaticais, os módulos da estrutura-c e de ligação; quando a tarefa requer julgamentos de significado, os módulos de referência e temático/predicação. Para maiores informações sobre a teoria lingüística atual, veja [17].

O efeito das relações intermodulares pode depender muito dos tempos relativos das decisões de processamento.

Na figura 2, os módulos estrutura-c e de ligação satisfazem todos os critérios de serem módulos de entrada. Eles podem ser influenciados por informação não lingüística mas apenas uma vez esta foi traduzida para o vocabulário de c-comando ou irmandade, através da influência de uma atribuição referencial ou de temático/predicação. Mas os módulos de referência e de temático/predicação são problemáticos pois eles necessitam de informação que vai além da informação puramente lingüística. No mínimo, informação sobre o contexto de discurso deve estar disponível ao módulo de referência. A informação do mundo real e da representação do discurso devem estar disponíveis ao mó-

dulo temático. Como o encapsulamento da informação é usualmente visto como a característica central de um módulo de entrada, isto sugere que dois dos módulos da figura 2 não são módulos de entrada.

12. CONCLUSÃO: O DOMÍNIO DA CIÊNCIA COGNITIVA

O que torna uma área de estudo um domínio científico natural é a *descoberta* de que algum conjunto relativamente uniforme de princípios pode dar conta dos fenômenos neste domínio.

A ciência cognitiva tem sido vista como o estudo de domínio natural da cognição, onde cognição inclui fenômenos prototípicos da percepção, solução de problemas, raciocínio, aprendizado, memória, etc.

Certos fenômenos não vêm do processamento simbólico, contrariamente às *assunções* anteriores. Neste caso, os apelos *conexionistas* de que os sistemas de símbolos não são necessários [18], poderiam estar certos. Por outro lado, existem boas razões para manter o fato de que o *raciocínio* ou outro processo racional ou *dependente de conhecimento* requer processamento simbólico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PYLYSHYN, Z. W. (1989). Computing in Cognitive Science. In Foundations of Cognitive Science. Possner, Editor. A Bradford Book. The MIT Press.
- [2] TURING, M. A. (1937). On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. Proceedings of the London Mathematical Society 42:230-265. *Apud* [1].
- [3] MOLL, R. N. & Arbib, M. A. & Kfoury, A. J. (1988). An Introduction to Formal Language Theory. Springer-Verlag.
- [4] NEWELL, A. (1980). Physical Symbol Systems. *Cognitive Science* 4 (2): 135-183.
- [5] TURING, M. A. (1950). Computing machinery and intelligence. In *Mind*; reprinted in 1964 in A. R. Andersen, ed. Minds and Machines. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. *Apud* [1].
- [6] FREGE, G. (1918). “Der Gedanke.” Beitrage zur Philosophie des deutschen Idealismus. English translation in G. Frege, Logical Investigations, ed. By P. T. Geach (New Haven: Yale University Press, 1977). *Apud* [7].
- [7] CHIERCHIA, G. and McConnell-Ginet, S. (1990). Meaning and Grammar - An Introduction to Semantics. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.
- [8] FODOR, J. A. & Pylyshyn, Z. W. (1988). Connectionism and Cognitive Architecture: A critical analysis. *Cognition* 28: 3-71.
- [9] NEWELL, A. & Rosenbloom, P. S. & Laird, J. E. (1989). Symbolic Architectures for Cognition. In Foundations of Cognitive Science, Possner, Editor. A Bradford Book. The MIT Press.
- [10] MCCULLOCH, W. S. and Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in neural nets. *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5:115-137. *Apud* [11].
- [11] RICH, E. and Knight, K. (1991). Artificial Intelligence. 2nd. Edition. McGraw-Hill.
- [12] CHOMSKY, N. (1959). On certain formal properties of grammar. *Information and Control* 2, 137-167. *Apud* [3].
- [13] CALVIN, W. H. (1996). How Brains Think - Evolving Intelligence, Then and Now. Basic Books.
- [14] JACKENDOFF, R. (1994). Patterns in the Mind: Language and Human Nature. Basic Books. *Apud* [13].

- [15] FODOR, J. A. (1983). Modularity of Mind. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. *Apud* [16].
- [16] FRAZIER, L. (1990). Exploring the Architecture of the Language-Processing System. In Cognitive Models of Speech Processing - Psycholinguistic and Computational Perspectives. Edited by Gerry T. M. Altmann. A Bradford Book. The MIT Press.
- [17] HAEGEMAN, L. (1991). Introduction to Government and Binding Theory. Cambridge: Blackwell.
- [18] MCCLELLAND, J. L. & Rumelhart, D. E. (1986). Parallel Distributed Processing - Explorations in the Microstructure of Cognition - Volume 2: Psychological and Biological Models. A Bradford Book. The MIT Press.