

SIMULAÇÕES CONEXIONISTAS: A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL MODERNA

José Marcelino Poersch*

Resumo: Nas últimas duas décadas, principalmente a partir de 1986, significativos progressos na área do paradigma conexionista foram planejados e executados. As técnicas de simulação conexionista colaboraram para se compreender melhor a maneira como as funções mentais são adquiridas, armazenadas e, em certos casos, perdidas. Os modelos conexionistas baseiam-se num processamento distribuído em paralelo (PDP). Apesar de suas evidentes e valiosas contribuições, o conexionismo está longe de apresentar uma solução definitiva para os problemas da cognição. Esse paradigma corresponde mais a uma força explicativa do que a uma simulação perfeita dos verdadeiros processos cerebrais.

Palavras-chave: cognição; simulação; conexionismo; inteligência artificial; linguagem.

1 INTRODUÇÃO

O paradigma conexionista apresenta um forte impacto no campo da cognição porque oferece respostas alternativas a velhas questões e encontra soluções para problemas ainda não resolvidos. Naturalmente, é necessário entender o funcionamento dos modelos conexionistas para alcançar suas reais possibilidades e prever seu futuro. A distribuição da informação nos neurônios e o processamento em paralelo são características que o distinguem do paradigma simbólico guiado por regras que combinam os símbolos de forma serial (RUMELHART e MCCLELLAND, 1986; CHRISTIANSEN e CHATER, 1999; PINKER e PRINCE, 1988; PLUNKETT, 2000; POERSCH, 2001).

A modelagem conexionista no processamento cognitivo constitui uma atividade altamente controversa. Enquanto alguns estudiosos (PLUNKETT, 2000; SEIDENBERG e MACDONALDS, 1999; RUMELHART e MCCLELLAND, 1986) pleiteiam que essa modelagem pode ser entendida em termos conexionistas, outros (SMOLENSKY, 1988; PINKER e PRINCE, 1988) afirmam que os métodos

* Professor titular do Programa de Pós-Graduação em Letras da Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS). Doutor em Linguística, com pós-doutorado em Linguística Cognitiva na Universidade da Califórnia – Berkeley. E-mail: poerschjm@pucrs.br.

conexionistas não conseguem abarcar, de forma completa, nenhum aspecto da linguagem. A partir da metade da década de 80, várias limitações do conexionismo foram superadas; com isso reabriu-se a possibilidade de alçar esse paradigma não como uma abordagem adicional mas como um modelo alternativo do pensamento. O conexionismo, baseado numa inspiração neuronal, significa que o cérebro consiste em um grande número de processadores, os neurônios, que se encontram maciçamente interligados formando uma complexa rede (HAYKIN, 1994).

Muitas dessas redes operam simultaneamente e de forma cooperativa no processamento da informação. Os neurônios dessas redes mais parecem comunicar valores numéricos do que mensagens simbólicas, podendo ser considerados como fazendo corresponder dados numéricos de entrada com dados numéricos de saída. Dessa forma, a rede constitui um processador totalmente distribuído, munido de uma propensão natural para armazenar conhecimento experiencial e torná-lo utilizável. Assemelha-se ao cérebro sob dois aspectos: 1. O conhecimento é adquirido pela rede através de um processo de aprendizagem; 2. As forças de conexão interneuronal, conhecidas como pesos sinápticos, são utilizadas para armazenar conhecimento.

Enquanto a modelagem simbólica, realizada em computadores digitais, objetiva modelar a mente como um processador de símbolos, o conexionismo (processador de distribuição em paralelo) tem uma origem diferente: procura projetar computadores inspirados no cérebro. O número de neurônios que integram uma determinada rede neuronal está intimamente ligado ao algoritmo de aprendizagem utilizado para treinar a rede. Todos os algoritmos estão estruturados em três camadas: uma camada de neurônios de entrada liga-se a uma camada de neurônios de saída. Entre essas duas camadas existem as unidades intermediárias, responsáveis pelo processo de aprendizagem da rede. Objetiva o presente artigo, com vistas a uma teoria alternativa de aquisição da linguagem, promover uma discussão introdutória dos pressupostos teóricos do paradigma conexionista e apresentar aspectos da inteligência artificial moderna instanciados pela modelagem cognitiva. Tenta-se, inicialmente, responder à pergunta “Por que um novo paradigma para a cognição?”. À resposta dessa pergunta, segue uma visão panorâmica das características do conexionismo. A seção seguinte aborda o tema central do trabalho: o que são simulações conexionistas, como funcionam e para que servem? Finalmente são apresentados dados sobre três simulações desenvolvidas no Centro de Pesquisas Lingüísticas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

2 POR QUE UM NOVO PARADIGMA PARA A COGNIÇÃO?

A conceituação de ciência da cognição varia de acordo com o ponto de vista adotado. Assim, por exemplo, Simon e Kaplan (1989, p. 3) definem-na como o estudo da inteligência e de seus processos computacionais. Para os objetivos operacionais deste artigo, com base nos achados da neurociência, conceitua-se a ciência da cognição como a área do saber que estuda a entrada, o armazenamento, o processamento e a recuperação do conhecimento, quer seja esse conhecimento declarativo ou procedimental, quer seja natural ou simulado em computador (POERSCH, 1998, p. 37).

A ciência consiste numa constante busca da verdade, isto é, de teorias que explicam determinados fenômenos da natureza. Somente são científicas as teorias que apresentam (oferecem) possibilidades de avaliação, teorias cuja veracidade pode ser colocada em dúvida. As teorias existentes devem ser constantemente reavaliadas e testadas; assim novas teorias surgirão em função das limitações das antigas (POERSCH, 1998). Cabe ao cientista descobrir os pontos positivos e as limitações de cada teoria.

Dentre as teorias de aquisição do conhecimento, há dois paradigmas clássicos, antagônicos e baseados em correntes filosóficas distintas: o behaviorismo e o mentalismo (simbolismo).

O paradigma behaviorista (Fig. 1), baseado na filosofia empiricista, coloca a ênfase nos sentidos, na experiência, ao abordar o processo de aquisição do conhecimento. É um paradigma neuronal; nega a existência da mente (TEIXEIRA, 1998). O conhecimento é aprendido através de estímulo e resposta.

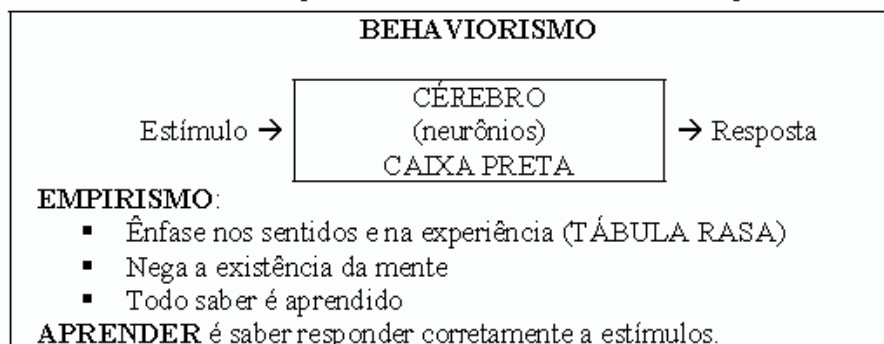


Figura 1 – Paradigma Behaviorista

O paradigma mentalista ou simbólico (Fig. 2) enfatiza o papel da mente nos processos cognitivos. Configura-se dentro da posição dualista cartesiana de corpo e mente (DESCARTES, 1949, p. 24 e 55), exposta em sua *Meditatio II: De natura mentis humanae quid ipsa sit notior quam corpus*. Segundo essa visão, mente e cérebro constituem duas realidades de substâncias diferentes; a primeira é inextensa e imaterial, a segunda é extensa e material (TEIXEIRA, 1998, p. 46). A interface entre essas duas realidades seria a glândula pineal (TEIXEIRA, 2000, p. 29 e 55). Os processos cognitivos de nível superior acontecem na mente onde se localiza a memória duradoura. Esse paradigma postula a existência de idéias (regras) inatas. A cognição se processa através da representação do mundo na mente mediante o uso de símbolos prontos dispostos serialmente.

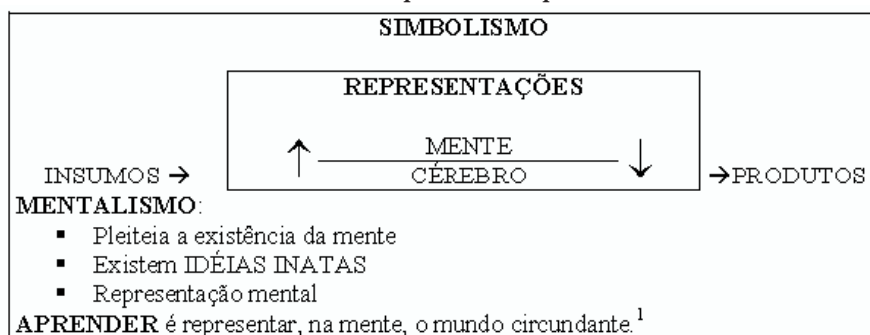


Figura 2 – Paradigma Simbólico

Com o aprofundamento dos estudos neurocientíficos, o paradigma simbólico começou a revelar uma série de limitações, de aspectos inexplicáveis (POERSCH, 1998, p. 40) relacionados basicamente à distinção mente/cérebro, ao armazenamento do conhecimento em forma de símbolos prontos e localizados, à serialidade do processamento mental e à interface entre o pensamento e a fala. Entre as limitações mais significativas arrolamos as seguintes:

- a) Como se realiza a passagem do conhecimento codificado no cérebro (substância física) e arquivado na mente (substância metafísica)?
- b) Os conceitos são abstrações. Como é que uma realidade abstrata, que não ocupa lugar no espaço, pode ser armazenada na mente?

¹ Em termos da Teoria dos Princípios e Parâmetros (Chomsky, 1993), poder-se-ia substituir a palavra regras por princípios. Aprender ou adquirir conhecimento seria testar a validade das hipóteses inatas.

- c) A mente armazena os símbolos que representam a realidade do mundo e são objetos do conhecimento declarativo. Como é que pode ser armazenado o conhecimento procedimental, não representado por símbolos?
- d) A fala e a escritura são produtos que se apresentam de forma serial embora sejam o resultado de um sem número de solução de problemas que acontecem em paralelo;
- e) Como se realiza a passagem do pensamento, realidade abstrata e analógica, para a linguagem, realidade concreta e digital?
- f) No signo verbal, o símbolo e seu objeto são realidades distintas de natureza concreta; como é que essas realidades podem relacionar-se na mente sob a forma de signo mental (lingüístico), constituído de conceito e de representação sonora, onde um constituinte é ativado pelo outro?

Essas limitações forçam os cientistas a pleitearem um novo paradigma. Esse paradigma é o connexionismo.

3 CARACTERÍSTICAS DO CONEXIONISMO

O connexionismo (Fig. 3) é um paradigma cognitivo baseado nos achados da neurociência e não em hipóteses explicativas (o simbolismo hipotetiza a existência da mente para explicar os processos cognitivos). Todos os processos cognitivos ocorrem no cérebro; a mente nada mais é do que o conjunto desses processos. A mente não constitui um *ens in se*, é um fenômeno que ocorre, é um *ens in altero*.

O cérebro contém milhões de neurônios ligados em paralelo formando redes interneuronais. Cada neurônio (Fig. 4) é constituído de uma massa central e de dois tipos de filamentos responsáveis pela formação das redes: os axônios, transmissores de eletricidade, e dendritos, receptores de impulsos elétricos. Nos pontos onde um axônio encontra um dendrito há um espaço onde se processam reações químicas: as sinapses. Essas reações são responsáveis pelo aprendizado. Aprender significa alterar a força das sinapses (YOUNG e CONCAR, 1992).

O cérebro é munido de um mecanismo inato, um conhecimento geneticamente engramado que possibilita seu funcionamento. Não existem regras inatas para o processamento da linguagem (RUMELHART e MCCLELLAND, 1986);

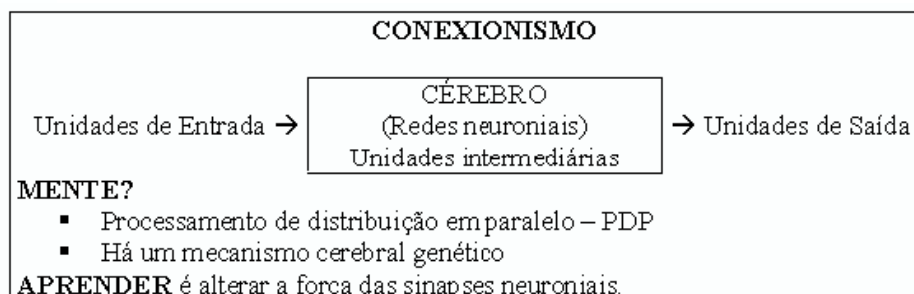


Figura 3 – Paradigma Conexionista.

as regras são inferidas através de um processamento estatístico dos dados provindos da experiência (SEIDENBERG e MACDONALDS, 1999). O conhecimento declarativo da língua e do mundo, bem como o conhecimento procedimental das diversas habilidades, são codificados no cérebro não em forma de símbolos prontos e em lugares determinados mas como elementos atomizados e distribuídos em pontos diferentes conectados entre si. O processamento não ocorre serialmente como na teoria da informação mas em paralelo, isto é, diversos processos ocorrem simultaneamente.

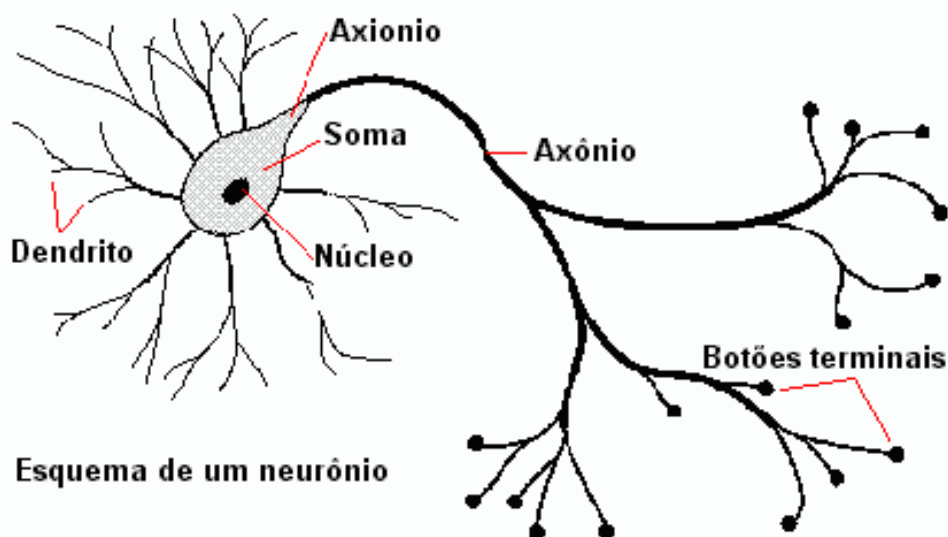


Figura 4 – Esquema de um neurônio.

Há estudos importantes para simular o funcionamento do cérebro (RUMELHART e MCCLELLAND, 1986; PLAUT, 1999; SEIDENBERG e MACDONALDS, 1999; PLUNKETT e MARCHMAN, 1993). A modelagem é feita não através de algoritmos que orientam o funcionamento de forma serial mas através

de redes conexionistas neuronais munidas de um dispositivo para aprender a partir de dados de entrada.

Veremos a seguir o significado e o funcionamento dessas redes.

4 SIMULAÇÕES CONEXIONISTAS

Uma das metas principais do conexionismo é fornecer explicações para os mecanismos que embasam o processamento cognitivo (POERSCH, 2001). Os conexionistas estão interessados em descrever os processos cerebrais mesmo tendo que considerar sua natureza fundamentalmente associativa. Os modelos conexionistas apresentam uma estrutura cada vez mais complexa. No início de seu ressurgimento, os pesquisadores maravilhavam seu público com o fato de que muito podia ser conseguido com modelos relativamente simples, dispensando parte da bagagem excessiva das teorias cognitivas clássicas. “Atualmente verificamos o uso de modelos cada vez mais sofisticados pelos pesquisadores que tentar explicar uma série cada vez maior de fatos e explorar o aumento vertiginoso dos conhecimentos sobre os sistemas neuronais no cérebro” (PLUNKETT, 2000, p. 111). Falta verificar se as limitações aparentes na construção dos modelos conexionistas correspondem a uma reinvenção dos princípios propostos pela psicologia cognitiva de décadas anteriores – mesmo que em termos associacionistas. A evidência, no entanto, é que o conexionismo se fixou como uma das correntes importantes das ciências cognitivas.

4.1 O que são redes neuronais?

O reconhecimento de que o cérebro computa informação de uma forma totalmente diferente do computador digital convencional (combinação serial de símbolos) fundamentou a atividade das redes neuronais. O cérebro possui uma quantidade impressionante de neurônios, sistematicamente interconectados entre si. Disso resulta que ele constitui uma estrutura altamente eficiente.

O cérebro se apresenta como um computador em paralelo de alta complexidade. Ele é capaz de organizar os neurônios de maneira tal que consiga realizar certas computações muitas vezes mais rápido do que o mais rápido computador digital. O que lhe é característico é a capacidade de construir suas próprias regras a partir da experiência. Essa experiência corresponde ao aprendizado que ele adquire através dos anos. Nos primeiros anos de vida essa

aprendizagem é dramaticamente significativa produzindo bilhões de sinapses por segundo.

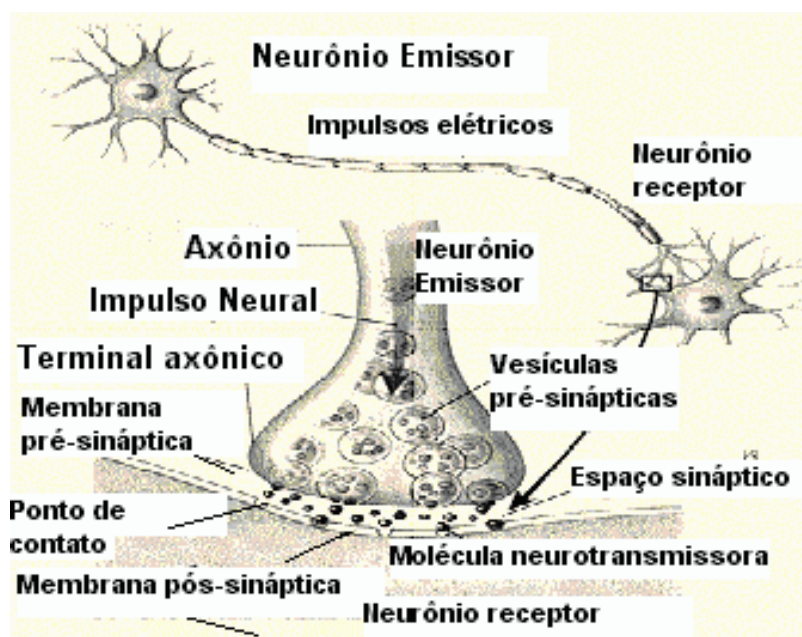


Figura 5 – Diagrama da comunicação interneuronal.²

“As sinapses (Fig. 5) são elementos unitários tanto na sua estrutura quanto na sua função; elas medeiam a interação entre neurônios” (HAYKIN, 1994, p. 2). Um processo pré-sináptico libera uma substância transmissora que se espalha na junção sináptica entre os neurônios e provoca um processo pós-sináptico. Dessa forma, um sinal elétrico pré-sináptico é convertido, na sinapse, em uma reação química que, por sua vez, novamente produz um impulso elétrico. Admite-se que as sinapses são conexões que provocam uma ativação recíproca entre os neurônios. A plasticidade oferecida pelas sinapses constitui uma característica importante do cérebro. Essa plasticidade permite a que o sistema neuronal se adapte ao meio ambiente. As sinapses instanciam-se por meio de dois filamentos celulares: o axônio e o dendrito.

Da mesma maneira como a plasticidade é essencial para o funcionamento dos neurônios no cérebro humano, também o é nas redes neuronais, construídas com neurônios artificiais. Pode-se afirmar que a rede neuronal constitui uma máquina projetada para simular a maneira como o cérebro realiza uma

² Adaptado de users.rc.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/N/Neurons.html.

determinada tarefa ou função. A rede normalmente é implementada por componentes elétricos ou simulada em *software* (programa algorítmico) capaz de realizar operações através de um processo de aprendizagem que utilize uma maciça interconexão de unidades simples de processamento.

“Uma rede neuronal constitui um processador totalmente distribuído em paralelo que tem uma propensão natural de armazenar conhecimento experiencial e torná-lo utilizável” (HAYKIN, 1994, p. 2). O procedimento utilizado para processar o aprendizado é denominado de algoritmo de aprendizagem; sua função é alterar os pesos sinápticos da rede a fim de atingir um objetivo proposto.

4.2 Como são arquitetadas as redes neuronais?

No âmago do modelo conexionista existe uma teia interconectada de unidades de processamento. Convém conceber cada unidade de processamento como um neurônio ativado por outros neurônios através das conexões sinápticas (Fig. 6). Semelhantemente ao que acontece com os neurônios reais no cérebro, a atividade de um neurônio conexionista depende da quantidade de ativação que o atinge. As sinapses entre os neurônios produzem excitações que variam num contínuo que vai do máximo até o nulo. O nulo corresponde à uma situação inalterada, de repouso. O padrão de conectividade de uma rede conexionista determina a maneira como ela responderá à entrada de informação vinda de outras redes com as quais ela se comunica.

Um aspecto importante das redes conexionistas é sua capacidade de aprendizagem. A maioria dos modelos conexionistas vem equipados com um algoritmo de aprendizagem que os habilita a aprender a partir de suas experiências. Existe uma ampla variedade de algoritmos de aprendizagem atualmente em uso. Esses algoritmos alteram a força das conexões na rede como resposta à atividade neuronal proporcionada por uma informação de entrada sobre outras redes. A alteração dos pesos das conexões entre neurônios codifica (engrama), na rede, informação vinda de seu meio ambiente (Fig. 7).

Os modelos conexionistas se apresentam sob diversas formas, cada qual com sua própria arquitetura, com suas próprias regras e premissas de como o meio ambiente é apresentado ao modelo. Todas essas variáveis restringem a atuação do modelo e sua capacidade de aprender do meio ambiente. Uma escolha

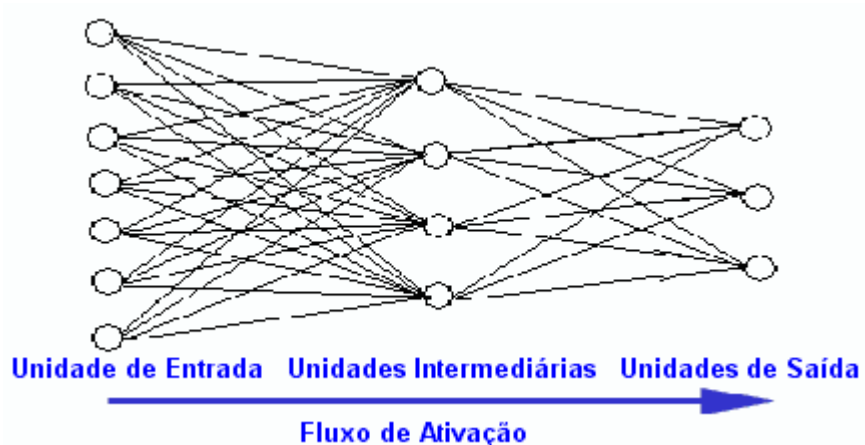


Figura 6 – Esquema de uma rede neuronal.³

judiciosa da arquitetura da rede e das regras de aprendizagem é tudo quanto é exigido para assegurar um determinado efeito ao ser dado um conjunto de experiências. O problema está na identificação clara das características do sistema que acarretam essas restrições. Essas características oferecem uma ampla estratégia para investigar uma série de modelos conexionistas e determinar sua ampliação para diferentes tipos de domínios cognitivos e lingüísticos. Uma estratégia comum é procurar o tipo mais simples de estrutura de rede (consistente com o conhecimento da estrutura cerebral) capaz de mapear os dados comportamentais quando exposta a um meio ambiente estruturado.

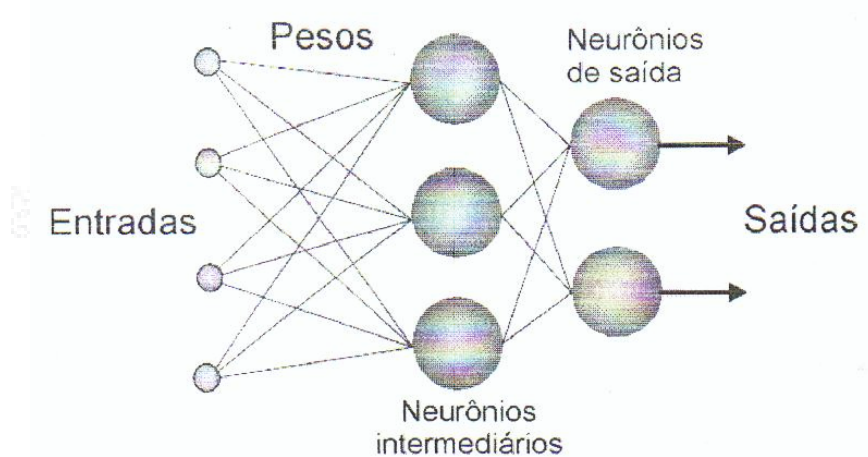


Figura 7 – O peso das conexões é responsável pela codificação da informação.⁴

³ Adaptado de www.Citations.neural/networks/Haykin.html.

⁴ Adaptado de www.Citations.neural/networks/Haykin.html

Um aspecto importante é descobrir a transação entre os recursos do ambiente e a complexidade da arquitetura, e o ajustamento de tempo da interação entre eles. Os modeladores conexionistas exploram essa transação investigando uma ampla série de premissas conceptuais relacionadas à natureza do ambiente aos aparelhos computacionais e sua respectiva aplicação (PLUNKETT, 2000).

4.3 Os algoritmos de aprendizagem

Os modelos conexionistas podem ser arquitetados e treinados para executar uma vasta gama de atividades como, por exemplo, formar o plural dos substantivos, realizar a concordância sujeito/verbo, adivinhar a palavra seguinte numa frase, recodificar letras em sons na leitura de textos, passar verbos para sua forma do passado. Qualquer que seja a tarefa, o algoritmo de aprendizagem (Fig. 8) ajusta a força das conexões na rede até ser alcançado o desempenho desejado. A rede pode ser analisada para verificar como ela realiza a tarefa; assim podem, por exemplo, ser levantadas hipóteses sobre a forma como o adulto realiza essa mesma tarefa.

Pode-se, igualmente, examinar as diversas etapas de desenvolvimento da rede até chegar ao seu estado final tomando *flashes* da rede em intervalos regulares. Se, durante o treinamento, o comportamento da rede se assemelhar ao comportamento da criança em seu período de desenvolvimento, possivelmente esses *flashes* poderão dizer algo sobre o estado da criança nesses diferentes momentos do desenvolvimento. De maneira semelhante, se uma alteração artificial introduzida na rede produzir padrões de desempenho semelhantes ao comportamento de sujeitos possuidores de deficiências, novas explicações poderão ser dadas sobre as causas dessas deficiências.

As redes aprendem alterando a força das conexões como resposta à atividade neuronal. Normalmente, essas mudanças ocorrem gradualmente, determinadas pelo ritmo de aprendizagem. Em termos gerais, a repetição de experiências de aprendizagem ocasiona um incremento na força das conexões.

O êxito dos modelos conexionistas em reproduzir o desenvolvimento cognitivo e/ou lingüístico deve-se a sua sensibilidade a regularidades estatísticas encontradas na realidade ambiental. É de vital importância escolher o tipo adequado de rede que se ajuste a esses aspectos estatísticos. Uma vez selecionada a rede (ou sistema de redes), esta pode receber informações de várias fontes e

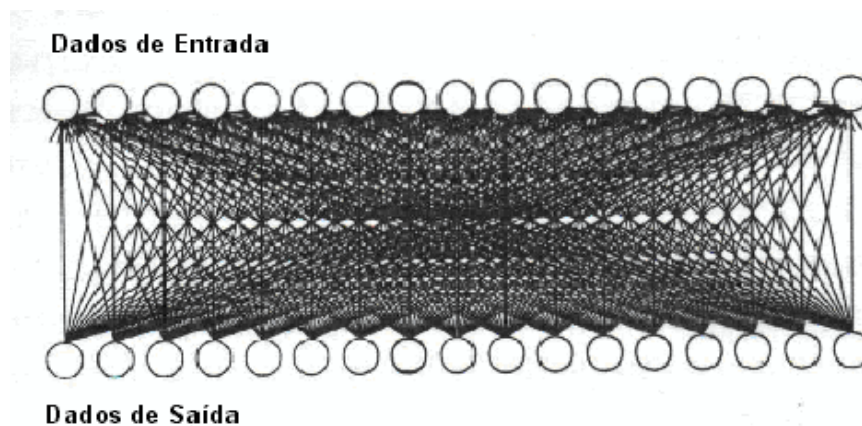


Figura 8 – Os algoritmos de aprendizagem.⁵

sob diversas modalidades a fim de construir representações que não poderiam ter emergido de áreas isoladas.

Com base nessas considerações, a modelagem conexionista oferece ao lingüista cognitivo uma ferramenta poderosa para descobrir explicações tanto interacionistas quanto epigenéticas de perfis gerais de desenvolvimento, de diferenças individuais na aprendizagem e nos efeitos causados em períodos críticos.

5 A SIMULAÇÃO LEVADA A SÉRIO

Aqui estão três simulações realizadas no Centro de Pesquisas Lingüísticas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) sob a orientação de José Marcelino Poersch e com a valiosa ajuda de pesquisadores conexionistas de renomados centros internacionais de pesquisa.

5.1 A aquisição de construções passivas: um estudo translingüístico

Gabriel (2001) projetou e construiu uma rede neuronal conexionista para a simulação de sua pesquisa no Departamento de Psicologia Experimental da Universidade de Oxford com a ajuda de Kim Plunkett, utilizando o programa T-Learn.

⁵ Adaptado de Plunkett (1997, p. 44).

Essa investigação pretendeu lançar luzes sobre a compreensão da natureza da linguagem e da mente. A construção passiva constitui um tema de considerável interesse na pesquisa psicolinguística nas últimas décadas. Inserida nos estudos de aquisição da linguagem, o objetivo é encontrar resposta para a questão: Como as crianças aprendem as construções passivas? Para respondê-la, duas técnicas foram utilizadas: análise de dados empíricos e simulação computacional de processamento neuronal. Para a coleta dos dados empíricos foi realizada testagem tanto da compreensão quanto da produção de construções ativas e passivas de falantes monolíngües de português e inglês, numa amostra de 300 sujeitos integrada por crianças variando entre 3 a 10 anos e por adultos. Os resultados dos estudos translingüísticos forneceram subsídios para a construção de um modelo de rede neuronal em computador que procurou simular a aquisição e o processamento das construções passivas. Concluiu-se dos resultados que o input lingüístico carrega informações de natureza explícita e implícita e que se um modelo computacional é capaz de aprender essas informações, por que não o seria também o cérebro humano?

5.2 O aprendizado de estratégias inferenciais em leitura

Sigot (2002) teve a assistência de Walter e Eillen Kintsch e projetou a arquitetura de sua simulação com o auxílio de Reall O'Reilly utilizando o programa LEABRA++ no Instituto de Ciência Cognitiva da Universidade do Colorado em Boulder.

Presume-se que o ambiente no qual estudantes aprendem uma língua estrangeira influencia o aprendizado da leitura visto estarem expostos a dados e a contextos diferentes. Baseado nessa premissa, foram investigadas as diferenças na construção da representação mental de textos produzidos por estudantes brasileiros aprendendo o inglês como língua estrangeira no Brasil e nos Estados Unidos. Procedeu-se a uma análise da inferenciação leitora desses estudantes em dois níveis. Num primeiro nível, procedeu-se à construção da base textual e da representação do modelo situacional; num nível mais baixo de análise, utilizaram-se redes conexionistas. Os dados empíricos foram coletados de aprendizes de inglês como língua estrangeira tanto no Brasil quanto nos Estados Unidos. Em seguida, foi realizada uma simulação eletrônica com esses dados e procedeu-se à análise das diferenças entre os dados empíricos e os dados virtuais. Verificou-se uma clara diferença entre os grupos de estudantes no que se refere à representação textual. Por outro lado, verificou-se que as diferenças observadas

nos resultados da simulação refletiam as diferenças observadas nos dados empíricos. Houve diferenças em relação à geração de influências produzidas por adultos aprendendo inglês como língua estrangeira no Brasil e nos Estados Unidos.

5.3 A transferência translingüística dos processos de leitura em uma língua estrangeira

Zimmer (2003) desenhou sua rede neuronal no Departamento de Psicologia da Universidade Carnegie Mellon, sob a orientação de David Plaut, mediante o uso do simulador LENS.

Um dos principais aspectos que diferenciam a aquisição da língua materna (LM) e a aquisição de uma língua estrangeira (LE) é o fato de que padrões de aprendizagem da LM são geralmente transferidos para a LE. Assim, presume-se que conhecimentos sobre a relação letra/som sejam transferidos quando leitores em língua portuguesa recodificam palavras em inglês. Como a maioria das letras é comum a ambas as línguas mas os sons correspondentes não o são, muitas palavras inglesas podem ser pronunciadas com um sotaque português devido à tendência de atribuir às letras da LE sons iguais ou semelhantes àqueles que eles ativariam no sistema fonológico na LM. Embora a sonorização das palavras inglesas como língua materna tenha sido estudada com certa ênfase durante os quinze últimos anos, tal sonorização ainda não foi estudada com falantes do inglês como língua estrangeira. O objetivo do estudo de Zimmer (2003) consistiu em analisar os processos de transferência dos conhecimentos da relação letra/som do português para o inglês em 157 brasileiros adultos durante sessões de recodificação. O produto oral foi transcrito foneticamente; posteriormente foram inventariados os processos de transferência. Depois de concluída a pesquisa empírica, foi construída a modelagem computacional de leitura em voz alta em português. A análise dos resultados desta pesquisa leva a pesquisadora a afirmar que os aprendizes adultos podem não produzir a leitura oral sem sotaque numa segunda língua porque seu sistema cognitivo foi largamente empregado na resolução de outros problemas – incluindo, em particular, a compreensão e a produção de sua língua materna, uma vez que a percepção de categoriais acústico-articulatórias da LM enforma o espaço fonético do aprendiz. A criança, por sua vez, provavelmente alcança um melhor desempenho porque seu sistema cognitivo não está ainda totalmente entrincheirado no conhecimento da LM. Chega-se, então, a uma formulação conexionista da transferência lingüística como sendo o

processo de entrincheiramento do conhecimento prévio - da LM e de outras línguas estrangeiras a que o aprendiz tenha sido exposto – que modula a percepção e a produção dos fones da LE.

6 CONCLUSÃO

A modelagem conexionista do processamento da linguagem tem apresentado posições bastante controversas. Enquanto alguns estudiosos asseveram que nenhum aspecto da linguagem pode ser captado integralmente por métodos conexionistas, outros afirmam exatamente o contrário.

E a controvérsia fica acalorada porque, para muitos, o conexionismo não constitui um método adicional para o estudo do processamento da linguagem mas uma alternativa para as tradicionais explicações simbólicas. Na verdade, o simples fato de o conexionismo substituir em vez de complementar os correntes paradigmas de cognição lingüística, já constitui um assunto de debate. (CHRISTIANSEN e CHATER, 1999, p. 417)

O conexionismo, diferentemente do simbolismo que projetou computadores digitais tradicionais que seguem regras para a combinação de símbolos, elaborou computadores inspirados no cérebro, computadores que aprendem a partir de dados de entrada, a partir da experiência. Diferentemente do grupo liderado por Fodor e Pylyshyn (1988), Pinker e Prince (1988) e Smolenky (1988) que tipicamente afirmam que a modelagem conexionista deveria começar com modelos de processamento simbólico e ser incrementada por redes conexionistas, e diferentemente de Chater e Oaksford (1990) que argumentam a favor de uma influência recíproca entre teorias simbólicas e conexionistas, os conexionistas radicais no campo do processamento da linguagem afirmam que o novo paradigma substitui a abordagem simbólica em vez de complementá-la.

Seidenberg e MacDonalds (1999) também argumentam que os modelos conexionistas serão capazes de substituir os modelos simbólicos de estrutura e de processamento lingüístico dentro da ciência cognitiva da linguagem.

O conexionismo começa a influenciar consideravelmente a ciência da psicolingüística. A extensão final dessa influência irá depender do grau de desenvolvimento que se consiga emprestar à prática dos modelos conexionistas a fim de conseguirem lidar com aspectos complexos do processamento lingüístico de

maneira realística e psicológica. Se os modelos conexionistas de processamento da linguagem puderem realmente ser fornecidos, poderá ser exigido um reexame radical, não somente da natureza do processamento da linguagem mas da própria estrutura.

REFERÊNCIAS

- CHATER, N.; OAKSFORD, M. Autonomy, implementation, e cognitive architecture: a reply to Fodor e Pylyshyn. **Cognition**, n. 34, p. 93-107, 1990.
- CHRISTIANSEN, M. H.; CHATER, N. Connectionist natural language processing: the state of the art. **Cognitive science**, v. 4, n. 3, p. 417-437, 1999.
- CHOMSKY, N.; LASNIK, H. Principles e parameters theory. In: JACOBS, J.; von STECHOW, A.; STERNEFELD, W.; VENNEMANN (Eds.). **Syntase, an introductioal book of contemporary research**. Berlin: Walter de Gruyter, 1993.
- DESCARTES, R. **Meditationes de prima philosophia: meditationes métaphysiques**. Introduction et notes par Geneviève Lewis. 3. ed.. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 1949.
- FODOR, J. A.; PLYSHYN, Z.W. Connectionism e cognitive architecture: a critical analyses. **Cognition**, n. 28, p. 3-71, 1988.
- GABRIEL, Rosângela. **A aquisição das construções passivas em português e inglês: um estudo translingüístico**. 2001. 212 f. Tese (Doutorado em Lingüística) – Programa de Pós-Graduação em Lingüística, PUCRS, Porto Alegre. Orientada por José Marcelino Poersch.
- HAYKIN, S. **Neural networks: a comprehensive foundation**. New York: Macmillan College Publishing Company, 1994.
- PINKER, S.; PRINCE, A. On language e connectionism: analysis of a parallel distributed processing model of language acquisition. **Cognition**, n. 28, p. 73-193, 1988.
- PLAUT, D. C. A connectionist approach to work reading: extension to sequential processing. **Cognitive Science**, v. 23, p. 543-568, 1999.
- PLUNKETT, K.; MARCHMAN, V. From rote learning to system building: acquiring verb morphology in children e connectionist nets. **Cognition**, n. 48, p. 21-69, 1993.
- PLUNKETT, K. O conexionismo hoje. In: POERSCH, J. M. (Ed.). **Psicolingüística, ciência e arte**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2000. p. 109-122.
- POERSCH, José Marcelino. Contribuições do paradigma conexionista para a aquisição do saber lingüístico. In: ENCONTRO NACIONAL DE AQUISIÇÃO DA LINGUAGEM, 4. **Anais...** Porto Alegre: CEALL, 1998. p. 37-72.

_____. A apropriação do conhecimento lingüístico: uma abordagem conexionista. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE AQUISIÇÃO DA LINGUAGEM, 1. **Anais...** Porto Alegre: CEALL, 2001. p. 399-432.

RUMELHART, D. E.; MCCLELLAND, J. L. On learning the past tenses of English verbs. In: MCCLELLAND, J. L.; RUMELHART, D. E. (Eds.). **Parallel distributed processing**. Cambridge, MA: MIT Press, 1986. V.2, p. 216-271.

SEIDENBERG, M. S.; MACDONALDS, M. C. A probabilistic constraints approach to language acquisition e processing. **Cognitive Science**, n. 23, p. 569-588, 1999.

SIGOT, Ana Elisa. **The processing of inferences in reading in English as a foreign language according to a connectionist approach**. 2002. 159 f. Tese (Doutorado em Lingüística) - Programa de Pós-Graduação em Lingüística, PUCRS, Porto Alegre. Orientada por José Marcelino Poersch.

SIMON, Herbert A.; KAPLAN, Craig A. Foundations of cognitive science. In: POSNER, M I.; SIMON, Herbert A. (Eds.). **Foundations of Cognitive Science**. Cambridge (Mass.): The MIT Press, 1989. p. 1-47.

SMOLENSKY, P. On the proper treatment of connectionism. **Behavioral e Brain Sciences**, n. 23, p. 589-613, 1988.

TEIXEIRA, João de Fernandes. **Mentes e m·quinas**: uma introdução à ciência cognitiva. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

_____. **Mente, cÈrebro, cogniÁ,,o**. Petrópolis: Vozes, 2000.

YOUNG, Stephen.; CONCAR, David. These calls were made for learning. **New Scientist**, november 21, p. 2-8, 1992.

ZIMMER, Márcia Cristina. **A transferência do conhecimento grafema-fonema do português brasileiro (L1) para o inglês (L2) na recodificaÁ,,o leitora**: uma abordagem conexionista. 2003. 220 f. Tese (Doutorado em Lingüística) – Programa de Pós-Graduação em Lingüística, PUCRS, Porto Alegre. Orientada por José Marcelino Poersch.

Recebido em 26/08/03. Aprovado em 06/02/04.

Title: Connectionist simulations: the modern artificial intelligence

Author: José Marcelino Poersch

Abstract: During the last two decades, especially after 1986, significant developments in the field of the connectionist paradigm were planned and executed. The connectionist simulation tools have helped to better understand how mental functions are acquired, stored and, in certain cases, lost.

The connectionist models are based on a parallel distributed processing (PDP). In spite of its obvious and valuable contributions, the connectionism is far from exhibiting a final solution for cognitive problems. Such a paradigm corresponds more to an explicative power than to a perfect simulation of real mental processes.

Keywords: cognition; simulation; connectionism; artificial intelligence; language.

Titre: Simulations connexionnistes: l'intelligence artificielle moderne

Auteur: José Marcelino Poersch

Resume: Dans les deux dernières décennies, surtout à partir de 1986, des progrès importants dans le domaine du paradigme connexionniste furent conçus et exécutés. Les techniques de simulation connexionniste ont collaboré pour qu'on puisse mieux comprendre la manière selon laquelle les fonctions mentales sont acquises, retenues et, selon les cas, perdues. Les modèles connexionnistes se fondent dans un procès distribué en parallèle (PDP). Malgré ses contributions évidentes et valables, le connexionnisme se trouve loin de présenter une solution définitive pour les problèmes de cognition. Ce paradigme correspond plutôt à une force explicative qu'à une simulation parfaite des vrais procès cérébraux.

Mots-clés: cognition; simulation; connexionnisme; intelligence artificielle; langage.

Título: Simulación conexionistas: la inteligencia artificial moderna

Autor: José Marcelino Poersch

Resumen: En las últimas dos décadas, principalmente a partir de 1986, significativos progresos e el área de paradigma conexionista fueron planeados y ejecutados. Las técnicas de simulación conexionista colaboraron para comprenderse mejor la manera como las funciones mentales son adquiridas, almacenadas y, en ciertos casos, perdidas. Los modelos conexionista se basean en un procesamiento distribuido en paralelo (PDP). Apesas de sus evidentes y valiosas contribuciones, el conexionismo está lejos de presentar una solución definitiva para los problemas de la cognición. Ese paradigma corresponde más a una fuerza explicativa de que a una simulación perfecta de los verdaderos procesos cerebrales.

Palabras-clave: cognición; simulación; conexionismo; inteligencia artificial; lenguaje.