

O Conexionismo hoje¹

Kim Plunkett^{**}

Resumo

Durante os últimos 15 anos, redes neuronais ou técnicas de modelagem conexionista têm sido usadas para ajudar-nos a compreender como os indivíduos adquirem, mantêm e, em alguns casos, perdem funções mentais. Este artigo oferece uma breve introdução aos princípios subjacentes à operação de redes neuronais conexionistas e oferece algumas sugestões de por que elas têm provocado tanta controvérsia dentro do campo das ciências cognitivas. Algumas aplicações da modelagem conexionista, enfocando o domínio da leitura em voz alta, são usadas para ilustrar os princípios conexionistas em ação. O artigo termina com algumas breves sugestões de rumos para o futuro.

Abstract

For the past 15 years, neural network or connectionist modeling techniques have been used to help us understand how individuals acquire, maintain and, in some cases, lose mental functions. This article offers a brief introduction to the principles underlying the operation of connectionist networks and offers some suggestions as to why it has provoked so much controversy within the field of cognitive science. Some applications of connectionist modelling, focusing on the domain of reading aloud, are used to illustrate connectionist principles at work. The article concludes with some brief suggestions for future directions.

¹ Novo empirismo = conexionismo. A versão original em inglês será publicada no periódico *Journal of Synthese*. A tradução foi realizada por Márcia Zimmer e Rosângela Gabriel, pesquisadoras do Centro de Pesquisas Lingüísticas da PUCRS.

^{**} Universidade de Oxford kim.plunkett@psy.ox.ac.uk

Introdução

Os últimos quinze anos testemunharam um aumento fantástico no uso de modelos computacionais na psicologia. O ressurgimento conexionista inspirado pela publicação dos dois volumes do *Parallel Distributed Processing*, de Rumelhart, McClelland e do grupo de pesquisa PDP (1986) desempenhou um papel fundamental nessa mudança. Esses dois volumes forneceram aos neuropsicólogos, psicólogos da cognição e do desenvolvimento uma ferramenta conceitual para desenvolver novas perspectivas teóricas de uma gama diversificada de fenômenos que vão da dislexia profunda à habilidade equilibrar uma régua, da esquizofrenia ao reflexo de apanhar bolas. A proposta do conexionismo foi prontamente aceita por cientistas de mentalidade empírica: os modelos foram admiravelmente bem sucedidos na simulação de dados experimentais. Os pesquisadores tinham, enfim, um instrumento que os habilitava a implementar suas teorias de modo preciso e testável, e os modelos freqüentemente forneciam uma série de novas hipóteses experimentais. Como se isso não fosse suficiente, os modelos apresentavam, também, plausibilidade biológica. As redes de processamento em paralelo ofereciam aos psicólogos uma aproximação razoável da forma como a informação é disseminada no cérebro humano. Uma nova ciência conexionista do cérebro/mente havia chegado!

Contudo, a despeito de seu sucesso evidente, o conexionismo ainda estava longe de ser visto com uma panacéia para os problemas da cognição. Os críticos apontavam "as exageradas afirmações de cientistas conexionistas" ou expunham os "erros fatais" presentes nas suposições subjacentes a muitos modelos. A crítica construtiva é um ingrediente saudável em qualquer empreendimento novo e o conexionismo pós-1986 foi imensamente beneficiado pela torrente de críticas e debates que provocou. Mas o abismo intelectual entre os protagonistas do debate estabelecido aprofundou-se. Uma visão de mundo estava em jogo, refletindo uma diferença de opinião que remonta a milhares de anos! O cerne da questão foi o fato de os conexionistas terem abraçado o associacionismo. E além disso, eles retomaram uma corrente associacionista que se parecia muito com o

behaviorismo, uma doutrina que demandou muito energia dos psicólogos cognitivistas para ser erradicada. Para que serviria uma nova ciência da mente que manifestamente ignorava as qualidades distintivas da cognição humana, embora simulasse com êxito os fatos evidentes do assunto?

Será que a situação melhorou durante a década passada? Talvez. Por um lado, a maioria dos comentaristas hoje reconheceria que o behaviorismo e o conexionismo são coisas um tanto distintas: uma das principais metas do conexionismo é fornecer uma explicação sobre os mecanismos que embasam o processamento mental. Os conexionistas estão interessados em descrever os estados internos da vida mental, mesmo que vejam os mesmos como fundamentalmente associativos por natureza. Em segundo lugar, os modelos conexionistas estão ficando mais complexos. Nos primórdios do ressurgimento conexionista, os pesquisadores lutavam para convencer seu público de que muito poderia ser feito com modelos bastante simples, que dispensavam grande parte do excesso de bagagem das teorias cognitivas clássicas. Hoje em dia, vemos modelos cada vez mais sofisticados sendo usados à medida que os pesquisadores tentam explicar uma gama cada vez maior de fatos e exploram nosso conhecimento crescente a respeito dos verdadeiros sistemas neuronais no cérebro. Ainda falta considerar se essas fontes adicionais de restrições na arquitetura de modelos conexionistas equivalem a uma reinvenção dos princípios propostos pela Psicologia Cognitiva há décadas atrás - mas em trajes associacionistas. Entretanto, é evidente que o conexionismo estabeleceu-se como uma das maiores correntes na psicologia, aparecendo regularmente nos periódicos mais proeminentes da área e até mesmo dando origem a seus próprios periódicos interdisciplinares. O conexionismo (ou o que quer que ele se torne) chegou para ficar. Então por que ele tem sido tão bem sucedido e por que tudo aconteceu tão subitamente? E o mais importante: para onde está se encaminhando?

O fantasma na máquina

O conexionismo teve um grande impacto nas ciências cognitivas porque ofereceu respostas alternativas a velhas perguntas, forneceu soluções a problemas não resolvidos e, em

alguns casos, ofereceu respostas a questões que ainda não haviam sido formuladas. Para que se consiga compreender o sucesso atual do conexionismo e prever seu progresso no futuro, é preciso entender um pouco mais a respeito do funcionamento dos modelos conexionistas.

No âmago de qualquer modelo conexionista está uma teia de unidades de processamento interconectadas. É útil pensar em cada unidade de processamento como um neurônio que recebe atividade de outros neurônios através de conexões sinápticas. Assim como os neurônios no cérebro, a atividade de um neurônio conexionista depende da quantidade de atividade que chega até ele. As sinapses entre os neurônios podem ser excitatórias ou inibitórias, fortes ou fracas. O padrão de conectividade numa rede conexionista determina como essa rede responderá a estímulos sensoriais ou informações de outras redes com as quais ela se comunica. Com efeito, o padrão de conectividade define o que a rede sabe sobre o problema para o qual foi desenvolvida.

Um importante aspecto das redes conexionistas é sua habilidade para aprender. A maioria dos modelos conexionistas vem equipada com um algoritmo de aprendizagem interno que os habilita a aprender a partir de suas experiências. Há uma grande variedade de algoritmos de aprendizagem em uso atualmente. Esses algoritmos alteram a força das conexões na rede como resposta à atividade neuronal evocada por estímulos sensoriais ou informações advindas de outras redes. Ao alterar as conexões entre os neurônios, a rede codifica informações sobre seu ambiente.

Sejnowski e Rosenberg (1986) deram uma das primeiras demonstrações do poder dessas técnicas com seu modelo NET-talk. Eles apresentaram seqüências sucessivas de letras de texto escrito a uma rede neuronal. Cada apresentação continha uma seqüência de 7 letras. A tarefa da rede era identificar a pronúncia correta da letra central da seqüência. Essa não é uma tarefa trivial. Considere a diferença de pronúncia entre o *a* de *save* e o

a de *have*². A pronúncia escolhida foi então fornecida a um sintetizador de fala. Ao identificar a troca das seqüências de 7 letras no decorrer do texto escrito, a rede aprendeu a ler em voz alta. Sejnowski e Rosenberg até mesmo tentaram imitar os estágios iniciais no desenvolvimento da linguagem, diminuindo a freqüência básica do sintetizador de fala à medida que a rede ia melhorando suas habilidades de leitura!

Os modelos conexionistas apresentam-se em vários sabores, cada qual com suas próprias restrições arquitetônicas, seu conjunto de regras de aprendizagem e suas suposições sobre como o ambiente é apresentado ao modelo (veja o quadro 1). Todos esses fatores conspiram para restringir o desempenho do modelo, bem como a sua habilidade em apreender as características do ambiente. Uma escolha criteriosa da arquitetura da rede e da regra de aprendizagem pode ser o suficiente para assegurar um determinado resultado dado um conjunto específico de experiências. O problema consiste em identificar as características do sistema que geram essas restrições. Há muitas maneiras pelas quais isso pode ser alcançado:

A própria natureza pode fornecer pistas valiosas. Ao observar o modo como os sistemas neuronais estão organizados, os conexionistas podem imitar essa organização em seus modelos. Por exemplo, a suposta divisão do sistema visual em duas rotas - "o que" e "onde" - inspirou os simuladores a desenvolverem arquiteturas seguindo linhas semelhantes em modelos de reconhecimento visual de objetos.

A análise matemática das capacidades computacionais de redes neuronais podem indicar a direção na escolha da arquitetura para um determinado problema. Sabe-se, por exemplo, que certos tipos de problemas requerem arquiteturas especializadas para sua solução. A aplicação de uma mistura de arquiteturas de rede pode resultar em tarefas complexas que são executadas por sistemas dotados de propriedades computacionais apropriadas.

Por fim, é possível desenvolver arquiteturas de rede e regras de aprendizagem especializadas através do uso de um

² Um exemplo semelhante em português é o primeiro 'a' das palavras 'cama' e 'raça'.

processo análogo ao da seleção natural, uma técnica comumente conhecida como conexionismo genético. Geralmente, um número considerável de redes randômicas é gerado e exposto a um domínio de tarefas. As redes mais bem sucedidas (conforme o estipulado por alguma função de adequação pré-definida) podem se reproduzir e/ou sofrer mutação. Depois de sucessivas repetições desse processo de seleção e reprodução, geralmente é possível identificar um modelo com as propriedades computacionais apropriadas para desempenhar uma determinada tarefa.

Juntas, essas técnicas oferecem um estratégia abrangente para a investigação de uma série de modelos conexionistas e suas aplicações a diferentes tipos de domínios cognitivos e linguísticos complexos. Uma estratégia comum é procurar a arquitetura de rede mais simples possível (consistente com o que se sabe sobre a estrutura do cérebro) que corresponda aos dados comportamentais quando exposta a um ambiente estruturado. Para a resolução de algumas áreas problemáticas, o ambiente pode fornecer pistas claras e abundantes, de modo que modelos relativamente simples consigam resolver a tarefa. Num ambiente com ruído e confusão, podem ser necessários modelos mais restringidos e cuidadosamente manipulados para fazer a simulação.

Uma descoberta importante é reconhecer a troca compensatória entre os recursos do ambiente e a complexidade computacional/arquitetônica da rede, bem como seu tempo de interação. Os pesquisadores que trabalham com simulações conexionistas exploram essa troca através da investigação de uma série de suposições conceituais associadas à natureza do ambiente, ao aparato computacional e a sua aplicação adequada.

Aprendendo, usando e perdendo informação

Os modelos conexionistas podem ser treinados para desempenhar diversas tarefas, tais como prever o reaparecimento de um objeto por detrás de uma tela, flexionar um verbo no passado, prever a palavra seguinte numa frase, categorizar objetos, categorizar sons de fala, sonorizar um texto escrito, pegar

uma bola ou equilibrar uma régua. Em cada caso, o algoritmo de aprendizagem vai ajustando cuidadosamente a força das conexões na rede até alcançar um desempenho similar ao de um adulto. A rede pode então ser analisada para verificar como ela realiza a tarefa, fornecendo uma fonte de hipóteses relacionadas à maneira como os adultos podem estar desempenhando a tarefa.

Um dos modelos conexionistas mais conhecidos da era pós-1986 é o de leitura em voz alta, de Seidenberg & McClelland. Esse modelo foi ensinado a pronunciar todas as palavras monossilábicas da língua inglesa, sendo muito eficiente, pois conseguiu ler tanto palavras de pronúncia regular (tais como *save*) como palavras de pronúncia irregular (como *have*). O modelo foi extremamente bem sucedido na imitação do efeito de variáveis, tais como a frequência de palavras e a consistência da ortografia, no tempo de leitura de palavras. Contudo, o desempenho do modelo foi pior do que o de leitores adultos normais na leitura de logatomos (palavras falsas) e na tarefa de reconhecer se uma sequência de palavras já havia sido aprendida ou não (decisão lexical).

Também é possível analisar o perfil do desenvolvimento da rede rumo ao estado adulto através de verificações regulares do desempenho da rede em intervalos regulares. Se o comportamento da rede durante o treinamento imitar o comportamento da criança durante seu desenvolvimento, talvez essas checas possam nos dizer algo a respeito do estado da criança em diferentes estágios de desenvolvimento. Da mesma forma, se a danificação da rede (seja pela lesão das conexões entre os neurônios na rede ou pelo uso de ruído no *input*) produzir padrões de desempenho não usuais que se assemelhem ao comportamento de pessoas com deficiências, então poderemos obter novas idéias sobre as causas dessas distúrbios.

Aprendendo

As redes aprendem pela mudança da força das conexões em resposta à atividade neuronal. Essas mudanças geralmente ocorrem gradualmente (frequentemente determinadas por um parâmetro denominado ritmo de aprendizagem - *learning rate*). Geralmente experiências de aprendizado consecutivas refor-

çam-se mutuamente. Ocasionalmente, elas interferem umas com as outras, resultando em decréscimos de desempenho temporários que reproduzem perfis de desenvolvimento do tipo "curva em U". A longo prazo, o desempenho melhora à medida que as conexões se acomodam na configuração de conexões adequada para a tarefa em questão. As redes neuronais mostram como o conhecimento pode ser adquirido gradualmente, ao invés de ser uma questão de tudo ou nada. A expressão do conhecimento parcialmente adquirido pode ser altamente dependente de contexto. Se a experiência se adequar ao seu estado imediato, a rede pode executar bem a tarefa, mas se houver uma falsa correspondência, a mesma rede poderá agir de uma maneira imatura. Por exemplo, as redes aprendem a alcançar objetos visíveis antes de conseguirem alcançar objetos escondidos.

As redes conexionistas exibem relações não-lineares entre quantidade de treinamento e nível de desempenho. Uma rede treinada para associar rótulos com objetos pode apresentar uma explosão de vocabulário semelhante à apresentada pela criança, embora o ambiente de treinamento permaneça o mesmo e o mecanismo de mudança subjacente seja simplesmente o de ajuste gradual da força de conexão. Depois de um período de treinamento extensivo, uma rede pode passar por várias fases não lineares, dando a impressão de um comportamento em estágios semelhante ao observado em crianças. Uma rede treinada num problema de manter o equilíbrio de uma régua, por exemplo, exibe um comportamento de aprendizagem em estágios quando exposta a variações no peso e na distância dos objetos de seu ponto de equilíbrio.

Zorzi, Houghton, & Butterworth (1998) mostram como o problema da aprendizagem da leitura de palavras de pronúncia regular e irregular pode ser resolvido pelo uso de um tipo de rede diferente para cada tipo de palavra. As palavras de pronúncia regular (*save*) requerem redes bastantes simples, ao passo que palavras de pronúncia irregular (*have*) precisam de arquiteturas mais complicadas. Quando a tarefa da aprendizagem da leitura é distribuída desse modo, o resultado é um sistema que se desenvolve de uma maneira que se assemelha às mu-

danças ocorridas nos padrões do desenvolvimento da leitura das crianças. O modelo sugere, por exemplo, como as crianças progredem da etapa de leitura logográfica para a fonológica.

O sucesso das redes conexionistas na imitação do desenvolvimento comportamental, lingüístico e cognitivo baseia-se em sua sensibilidade para captar as regularidades estatísticas inerentes ao ambiente. É importante escolher o tipo certo de rede para chegar a essas estatísticas. Uma vez escolhida, a rede (ou sistema de redes) pode integrar informações advindas de múltiplas fontes e modalidades para construir representações cognitivas que não poderiam ter emergido de domínios isolados. O todo é melhor do que a soma das partes. A simulação conexionista oferece ao psicólogo uma poderosa ferramenta para investigar explicações interacionistas e epigenéticas do desenvolvimento, dando conta não apenas de perfis de desenvolvimento geral, mas também de diferenças individuais no aprendizado e nos efeitos de períodos críticos.

Simulando

A maioria dos modelos conexionistas pressupõe o processamento distribuído em paralelo. Os modelos são em paralelo porque integram informações advindas simultaneamente de fontes múltiplas. Eles são distribuídos porque muitos neurônios e conexões participam da representação da informação numa rede. O mesmo conjunto de neurônios e conexões pode tomar parte na representação de diferentes fatos. Essas são as características que mais claramente distinguem os modelos conexionistas dos modelos simbólicos clássicos governados por regras.

Será que essas características influenciam a maneira como deveríamos entender os princípios subjacentes à cognição madura do adulto? A falta de regras simbólicas explícitas na maioria das redes conexionistas sugere a necessidade de um outro tipo de vocabulário quando se fala sobre a estrutura da cognição humana. É útil pensar em redes conexionistas como máquinas de analogia. Elas respondem a estímulos similares de maneiras similares. Nas máquinas simbólicas, a similaridade de superfície é freqüentemente ignorada. Isso é útil quando se quer entender o fato de que se pode responder a coisas muito semelhantes de maneiras diferentes. Contudo, também se pode trei-

nar redes conexionistas para responder de modo categórico, ignorando as semelhanças de superfície e respondendo com base na semelhança funcional. Isso é possível porque as redes neuronais têm a capacidade de formar representações internas, transformando a similaridade superficial entre os estímulos e, por conseguinte, transformando a base da rede para responder a eles. Essa propriedade faz das redes neuronais instrumentos poderosos para a investigação da estrutura categorial da cognição humana. Em particular, elas oferecem ao psicólogo cognitivo um meio para o estudo de como os indivíduos organizam seu comportamento na presença de informações ambíguas e com ruído.

No campo da leitura de adultos, Plaut, McClelland, Seidenberg & Patterson (1996) ampliaram o primeiro modelo de Seidenberg e McClelland ao incluir conexões recorrentes na rede. As conexões recorrentes permitem que uma rede forme estados de atração (estados estáveis de ativação alcançados depois de uma assimilação gradual do estímulo inicial) que melhora suas características de generalização. Juntamente com várias outras adaptações relativas à codificação das letras de *input*, isso auxiliou o modelo a superar algumas limitações presentes na primeira versão. O modelo de Plaut et al, por exemplo, é muito bem sucedido ao ler logatomos e lidar com *inputs* com ruído.

Perdendo informação

O conexionismo pode ser usado para simular o comportamento humano em vários níveis. Os pesquisadores que fazem simulação podem tentar captar a micro-estrutura dos sistemas neuronais em suas redes, usando algoritmos de aprendizagem que imitam os processos eletroquímicos que ocorrem no cérebro. Uma outra alternativa pode ser treinar o modelo num nível cognitivo mais abstrato onde a relação exata com os processos neurofisiológicos não é especificada. A maioria das simulações conexionistas que toca nos interesses dos psicólogos está nesse nível mais abstrato.

Algumas das demonstrações mais dramáticas da utilidade do conexionismo para a compreensão dos processos cog-

nitivos vem da simulação de distúrbios de comportamento. Nas áreas de leitura, memória semântica e atenção, por exemplo, as redes conexionistas lesionadas conseguem simular dados de pacientes tanto no nível qualitativo, reproduzindo padrões de deficiência, quanto no nível quantitativo, prevendo a magnitude relativa de diferentes danos cerebrais. O desempenho de redes danificadas reproduz com tanto sucesso o desempenho de cérebros lesionados de pacientes, que se acredita que essa área oferece algumas evidências mais persuasivas de que a abordagem conexionista é apropriada para a compreensão de processos cognitivos.

As redes neuronais codificam informações nos pesos que conectam os neurônios na rede. Se essas conexões são danificadas, a informação é corrompida e o desempenho da rede vai-se deteriorando. A informação na rede é representada em paralelo, de forma distribuída, de modo que um dano pequeno dificilmente irá degradar o desempenho de forma drástica. O desempenho da rede vai-se deteriorando aos poucos, à medida que o dano aumenta. Entretanto, assim como a aprendizagem é um processo não linear nos modelos conexionistas, o mesmo ocorre com a deterioração da rede. Deveríamos esperar também que ocorressem decréscimos súbitos e seletivos no desempenho, uma vez que observamos incrementos abruptos e seletivos no desenvolvimento. Esses efeitos podem nos dar novas idéias a respeito da natureza de danos nos mecanismos cerebrais subjacentes aos distúrbios de comportamento.

Os neuropsicólogos estudam colapsos de comportamento como evidência para a identificação de mecanismos subjacentes ao comportamento. Se danos ao cérebro causam deterioração em alguma habilidade, mas não em outras, então a área do cérebro que foi danificada pode conter o mecanismo que controla aquele comportamento. Dissociações duplas oferecem provas particularmente contundentes para essa abordagem. Tais dissociações ocorrem quando um neuropsicólogo depara-se com um paciente que pode desempenhar uma tarefa A, mas não uma tarefa B, ao passo que um segundo paciente pode se desincumbir de uma tarefa B, mas não de uma tarefa A. Uma interpretação natural para esse padrão de déficit é a de que as

funções cognitivas responsáveis pelas duas tarefas são independentes.

As simulações conexionistas de distúrbios levaram muitos neuropsicólogos a questionar a necessidade dessa lógica. Plaut e Shallice (1993), por exemplo, ensinaram uma rede a ler tanto palavras concretas quanto palavras abstratas. A maioria das lesões deixou o sistema capacitado para ler palavras concretas melhor do que palavras abstratas. Contudo, lesões em uma parte do sistema tiveram efeito contrário – as palavras abstratas foram melhor lidas do que as concretas. Essas redes exibiram uma dissociação dupla. Nesse caso, a suposição comumente apresentada de que as dissociações no comportamento evidenciam o fracionamento qualitativo da cognição não se sustenta. A neuropsicologia conexionista força-nos a repensar as implicações dos distúrbios de comportamento em pacientes.

E o que vem a seguir?

A maioria das tentativas de simulação está tensionada entre dois tipos de procedimento. Por um lado, a parcimônia dita que os modelos sejam construídos da forma mais simples possível, desde que capturem todos os fatos relevantes. Por outro lado, pode ser válido sacrificar a parcimônia em nome da eficiência. Um modelo pode desempenhar a tarefa, mas ao mesmo tempo ser extremamente lento ou implausível na solução encontrada.

Essa tensão é evidente nos modelos conexionistas de processos neuropsicológicos, cognitivos e de desenvolvimento. Muitos trabalhos detiveram-se na demonstração de que modelos simples podem captar comportamentos complexos. Essas demonstrações renovaram o interesse nas complexidades estruturais e contingências dos ambientes habitados pelos organismos. A orientação aqui é “não empregue uma estrutura no seu mecanismo se esse pode capturá-la do ambiente sem custo. A nossa compreensão da riqueza das complexidades e contingências estruturais do ambiente humano é tão limitada que as teo-

rias vigentes sobre a base da vida mental humana certamente serão transformadas por esse novo empirismo³.

Os modelos conexionistas mais complexos mostram-nos como as modificações introduzidas nos modelos mais simples podem trazer grandes benefícios, tais como a velocidade de aprendizagem ou eficiência de representação. Essas alterações são freqüentemente inspiradas por descobertas da neurociência ou análises matemáticas das capacidades da rede de simular a tarefa comportamental. Os pesquisadores que fazem simulações também exploram o conexionismo genético para desenvolver arquiteturas de rede que são selecionadas para determinada tarefa. Todos esses métodos aumentam a bateria de instrumentos à disposição para a investigação da maneira como o cérebro dirige o comportamento. Eles fornecem um vocabulário para a descrição dos princípios subjacentes à organização da vida mental.

Referências bibliográficas

- PLAUT, D., MCClelland, J., Seidenberg, M., & Patterson, K. (1996). Understanding normal and impaired reading: Computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review*, 103, 56-115.
- PLAUT, D.C., & Shallice, T. (1993). Deep Dyslexia: A Case Study of Connectionist Neuropsychology. *Cognitive Neuropsychology*, 10(5), 377-500.
- RUMELHART, D., & McClelland, J. (1986). *Parallel Distributed Processing*. Cambridge, MA: MIT Press.
- SEIDENBERG, M.S., & McClelland, J.L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*, 96(4), 523-568.
- SEJNOWSKI, T., & Rosenberg, C. (1986). Nettek: a parallel network that learns to read aloud. *The Johns Hopkins University Electrical Engineering and Computer Science Technical Report*, JHU/EECS-86/01.
- ZORZI, M., Houghton, G., & Butterworth, B. (1998). The development of spelling-sound relationships in a model of phonological reading. *Language and Cognitive Processes*, 12(5/6).

³ Novo empirismo = conexionismo

Leituras Recomendadas

A collection of connectionist *classics* is assembled in:

ANDERSON, J., Rosenfeld, E. (1988). *Neurocomputing: foundations of research*. Cambridge, MA: MIT Press.

An in-depth treatment of the developmental applications in connectionist modelling is covered in:

ELMAN, J.L., Bates, E Johnson, M.S., Karmiloff-Smith, A., Parisi, D., & Plunkett, K. (1996). *Rethining Innateness: A connectionist perspective on development*. Cambridge, MA.: MIT Press.

For a general introduction to connectionist modelling of cognition see:

MCLEOD, P., Plunkett, K., & Rolls, E.T. (1998). *Introduction to connectionist modelling of cognitive processes*. Oxford University Press.

A Hands-on set of tutorial exercises to develop practical modelling skills is offered by:

PLUNKETT, K., & Elman, J.L. (1997). *Exercises in Rethinking Innateness: A handbook for connectionist simulations*. Cambridge, MA: MIT Press.

- **MUNDO JOVEM**
Jornal de idéias e reflexões para jovens, vinculado à Faculdade de Teologia - *Mensal*
- **PUCRS INFORMAÇÃO**
Boletim informativo - *Bimestral*
- **VERITAS**
Revista de estudos de Filosofia - *Trimestral*
- **LETRAS DE HOJE**
Revista de estudos de Lingüística, Literatura e Língua Portuguesa
Trimestral
- **TEOCOMUNICAÇÃO**
Revista de estudos de Teologia e áreas afins - *Trimestral*
- **REVISTA DE MEDICINA DA PUCRS**
Revista da Faculdade de Medicina e Instituto de Geriatria-
Trimestral
- **EDUCAÇÃO**
Revista do Curso de Pós-Graduação em Educação - *Quadrimestral*
- **ANÁLISE**
Revista da Faculdade de Administração, Contabilidade e
Economia - *Semestral*
- **BIOCIÊNCIAS**
Revista da Faculdade de Biociências - *Semestral*
- **BRASIL/BRAZIL**
Revista de Literatura Brasileira e Literatura Comparada Editada
pela PUCRS e Brown University - *Semestral*
- **COMUNICAÇÕES DO MUSEU DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**
Sem periodicidade
- **DIVULGAÇÕES DO MUSEU DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**
Sem periodicidade
- **ESTUDOS IBERO-AMERICANOS**
Revista de estudos sobre a História e a Literatura Ibero-Americana
do Curso de Pós-Graduação em História - *Semestral*
- **ODONTO CIÊNCIA**
Revista da Faculdade de Odontologia- *Quadrimestral*
- **PSICO**
Revista da Faculdade de Psicologia - *Semestral*
- **REVISTA FAMECOS – mídia, cultura e tecnologia**
Revista da Faculdade de Comunicação Social – *Semestral*
- **SESSÕES DO IMAGINÁRIO**
Revista de Cinema da Faculdade de Comunicação Social– *Anual*
- **DIREITO & JUSTIÇA**
Revista da Faculdade de Direito - *Semestral*
- **ACTA MÉDICA**
Registro dos formandos da Faculdade de Medicina - *Anual*