

SIMULAÇÃO DE ESTRATÉGIAS CATEGÓRICAS DE RECORDAÇÃO E FORMAÇÃO DE CONCEITOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Mariana A. Aguiar^{1,2}, Rogerio A. Furucho¹, Gilberto F. Xavier² e Francisco J. R. Pelaez¹

¹Centro de Matemática, Computação e Cognição - CMCC
Universidade Federal do ABC – UFABC

²Laboratório de Neurociência e Comportamento – LABNEC
Instituto de Biociências – IB
Universidade de São Paulo – USP

mariana@lsi.usp.br
akira@marianrogers.com.br
fgxavier@usp.br
francisco.pelaez@ufabc.edu.br

Resumo – O homem é o reflexo de suas experiências pessoais. Todo o conhecimento adquirido em sua existência é armazenado em suas memórias e possibilita agir, decidir e aprimorar suas características ao longo de sua vida. São essas memórias que o tornam um ser humano único. Os processos e sistemas envolvidos na formação e recuperação das memórias vêm sendo investigados e compreendidos. Não se sabe ao certo como o cérebro classifica as informações em padrões quando os estímulos são apresentados em conjunto com novas informações ou inseridos em contextos desconhecidos. Este trabalho tem por objetivo apresentar um simulador computacional baseado em técnicas de Redes Neurais Artificiais para estudo das estratégias categóricas de formação de conceitos e recordação, tornando-se um instrumento de pesquisa, avaliação e ensaio sobre esses processos. A criação de uma ferramenta computacional voltada para a experimentação de processos de memorização possui uma forte demanda por parte dos pesquisadores da área biológica por possibilitar testes de hipóteses e abordagens anteriores e preparatórios ao experimento real com pessoas, que necessita de observação criteriosa de condutas, procedimentos e legislação pertinentes. O desafio maior deste trabalho foi traduzir o conhecimento biológico, normalmente descrito em linguagem natural, para uma linguagem implementável computacionalmente, além de encontrar as características e funcionalidades ideais para serem representativas dos processos em estudo.

Palavras-chaves – Memória, Recordação, Formação de conceitos, Processos biológicos, Redes Neurais Artificiais, Simulador computacional.

1 Introdução

A personalidade humana é fruto das memórias. São as memórias que caracterizam um indivíduo e o discernem de outro, mesmo quando se compara gêmeos univitelinos (geneticamente iguais). Isto é, suas ações, reações e atitudes perante fatos e acontecimentos da vida são reflexo de suas memórias, estejam elas conscientes ou não. A cada nova experiência, ajustes e reconsiderações são realizados, levando a uma reconstrução das memórias previamente arquivadas. Mesmo fatos supostamente esquecidos, ou julgados perdidos em decorrência da passagem do tempo, traduzem-se na personalidade. Muitas vezes, os mecanismos cerebrais “suprimem” a lembrança de fatos ou acontecimentos por seu conteúdo desagradável, como se houvesse um esforço no sentido de preservar o organismo dessas recordações; mas esses conteúdos continuam a influenciar as decisões dos indivíduos [1].

A representação de informações conceituais pelos sistemas de memória é objeto de estudo de áreas da ciência como a Psicologia, a Neuropsicologia e a Neurociências.

Várias teorias sobre o tema podem ser encontradas em trabalhos científicos, como a teoria de rede semântica, da profundidade de processamento, do processamento automático e controlado, entre outros. São também variadas as descrições de estratégias de memorização destas informações processadas, sendo esta capacidade atribuída à memória operacional e de longa duração.

Em crianças observam-se diferentes estratégias na manipulação de categorias e também na memorização em função da faixa etária e nível de instrução; distúrbios do desenvolvimento levam a alterações nesses processos.

Avaliações realizadas por meio de testes neuropsicológicos apropriados para crianças são de suma importância para permitir a análise e compreensão dos artifícios que as mesmas empregam na categorização e recordação de informações. Sabe-se, por exemplo, que a familiaridade do estímulo apresentado e a natureza da codificação envolvida é diretamente proporcional ao desempenho nas tarefas de aquisição e recuperação dessas informações [2].

Uma das formas de se distinguir itens mais familiares para utilização em experimentos neuropsicológicos envolvendo, por exemplo, palavras é avaliar-se a frequência de ocorrência dessas palavras em testes de fluência verbal, como descrito em Santos [3].

O presente trabalho baseou-se na tese de doutoramento de Mello [2], na área de Neurociências e Comportamento da USP, intitulada “Estratégia Categórica de Recordação e Formação de Conceitos em Crianças de Sete a Quatorze Anos de Idade”, realizada sob a supervisão do Prof. Dr. Gilberto Fernando Xavier. Simuladores computacionais foram utilizados para reproduzir “in silico” os testes realizados “in vivo”.

Assim, o objetivo do presente estudo é contribuir para a investigação das estratégias de formação de conceitos e de recordação por meio da implementação de um simulador computacional baseado em técnicas de Redes Neurais Artificiais (RNA). Um objetivo adicional é que esses simuladores possam ser utilizados como ferramentas de pesquisa e análise dos dados obtidos experimentalmente, servindo como fonte de investigação de hipóteses e de testes conceituais para os experimentos neuropsicológicos anteriormente descritos.

2 Estratégias Categóricas de Recordação e Formação de Conceitos

Memórias dependem de alterações estruturais e funcionais nas sinapses, i.e., regiões de comunicação entre as células nervosas, em diferentes partes do sistema nervoso. Esses processos, nos primatas, são modulados e controlados pelo funcionamento integrado de diversas outras regiões nervosas [4].

Segundo Izquierdo [5], “Memória é a aquisição, a formação, a conservação e a evocação de informações. A aquisição é também chamada de aprendizagem: só se grava aquilo que foi aprendido. A evocação é também chamada de recordação, lembrança, recuperação. Só lembramos aquilo que gravamos, aquilo que foi aprendido.”

Existem discussões sobre o número de sistemas de memória distintos encontrado; neste trabalho adotou-se a classificação encontrada nas obras respeitadas da área (e.g., [6]; [1]; [5]; [7]; [8]; [9]; [4]), entre outros.

Uma pergunta proposta por Rosenthal [10], também aplicável ao presente trabalho: “Podem as representações em classes envolver processos autônomos pela nossa exposição ao meio ambiente ou nós precisamos de um feedback ou de um professor externo que nos forneça a classificação da informação ou o contexto?”

Pesquisas sobre o tema abordam de formas distintas os diversos aspectos relacionados à codificação da informação, ao armazenamento e à recuperação. Segundo Mello [2], informações pode ser associadas por diferentes tipos de características. Por exemplo, palavras podem ser associadas por similaridade fonológica ou de significado, partes distintas de textos por conexões lógicas apresentadas entre eles, números podem ser agrupados por dígitos e estímulos visuais podem ser classificados em categorias, definindo estes mecanismos ativos como estratégias de memória.

Uma característica importante dessas estratégias é que elas estão vinculadas ao nível de informação e capacidade de processamento do indivíduo, ou seja, está diretamente relacionada à idade e ao nível intelectual da pessoa em análise.

Segundo Baddeley [11], a integração e a organização entre as partes constituintes de um estímulo realizadas por um indivíduo, como relações conceituais entre seus componentes, dependem de seu conhecimento pré-existente, ou seja, de suas memórias, sendo esse processo crucial para o desenvolvimento do aprendizado.

As definições sobre conceitos utilizadas pela visão clássica da Psicologia Cognitiva também podem ser atualizadas e reinterpretadas para o desenvolvimento de simuladores computacionais sobre o tema. Segundo essa visão, os conceitos resultam de um processo de abstração onde atributos essenciais ao seu entendimento são separados dos meramente acidentais. Esses atributos seriam então necessários e suficientes, sendo encontrados em todos os subconjuntos de sua classe ou categoria [2].

Sendo assim, atributos que podem mudar sem interferir no conteúdo da informação seriam descartados por serem considerados redundantes ou ruidosos, como por exemplo, a cor de uma camisa. Abstraindo esse conceito para a área de computação, poder-se-ia compará-lo à Análise de Componentes Principais (PCA – Principal Component Analysis) [12] técnica estatística muito conhecida para tratamento de dados de sistemas computacionais. A PCA é uma ferramenta que atua na descorrelação dos dados eliminando parte da informação redundante em cada dimensão apresentada. Assim, pode-se encontrar um conjunto menor de dados (os componentes principais) que seja representativo e mais compacto sem perder informações necessárias à correta interpretação e análise das amostras.

Alguns autores, entretanto, questionam a visão clássica apresentando o conceito de exemplos armazenados na memória como base para a formação ou enquadramento em categorias, sendo utilizados como padrões de comparação ao estímulo apresentado, constituindo-se a chamada visão dos exemplares [13].

A relação entre processos de categorização e memória é defendida por autores que afirmam que é através da primeira que a segunda torna-se útil ou aplicável [2]. Mas podemos concluir também que sem os processos de memorização da informação a classificação dos estímulos torna-se impraticável ou mesmo impossibilitada.

Poderíamos imaginar, assim, que o processo de categorização de um novo estímulo dar-se-ia passivamente de baixo-para-cima, porém, a representação e análise de uma nova informação no sistema faz com que todas as conexões e padrões previamente encontrados sejam recalculados para abranger os novos atributos ou características da classe a qual pertence.

Também podemos concluir, com base em estudos [1] sobre a possibilidade de incluir determinado estímulo ou informação em mais do que uma categoria, que seus atributos podem acionar nós da rede mnemônica de longa duração pertencentes a diversas classes distintas, com diferentes graus de pertinência a cada uma delas.

Descrevemos abaixo alguns estudos sobre estratégias categóricas de recordação e formação de conceitos, almejando enfatizar a diversidade de conceitos envolvidos e a dificuldade de enquadrar o tema em uma única visão. Assim, não se pretende, de forma alguma, esgotar o assunto e sim exibir algumas teorias sobre as quais a presente pesquisa se baseia. Maiores detalhes ou outras visões sobre o assunto podem ser encontradas em Mello [2].

Experimento Comportamental

Mello [2] investigou 209 crianças, incluindo meninos e meninas, entre sete e quatorze anos de idade, saudáveis, que participaram de um experimento envolvendo estratégias categóricas de recordação e formação de conceitos. Todas foram selecionadas entre as pertencentes do ensino fundamental das escolas da rede pública, dos municípios de Brazópolis (MG) e São Paulo (SP), sendo as amostras equiparadas em termos de idade e gênero.

Para avaliar a homogeneidade, em termos das capacidades intelectuais dos participantes, a autora submeteu as crianças à escala geral de Raven ou às Matrizes Progressivas Coloridas, de acordo com a faixa etária dos mesmos. Para que os resultados da criança fossem incluídos na análise dos resultados, sua classificação deveria ser igual ou acima do nível médio inferior. Crianças com histórico de patologias neurológicas, psiquiátricas, com antecedentes de subnutrição ou com dificuldade de aprendizado foram excluídas da análise.

As avaliações foram realizadas individualmente com cada criança, em salas apropriadas, em única sessão com duração de 60 minutos (pesquisa aprovada no Comitê de Ética da FCM/UNICAMP, sob número 163/2002).

Os estímulos consistiram de 30 cartões medindo 10 x 10 cm, com fundo branco, uma divisão em quatro quadrantes, e apenas uma figura impressa em um dos quadrantes, todas selecionadas do conjunto de imagens desenvolvido por Snodgrass e Vanderwart [14] (vide Figura 2).

Essas figuras pertenciam a seis categorias distintas com cinco exemplares de cada categoria, variando a cor e a posição das mesmas nos cartões: animais (cachorro, cavalo, gato, porco e vaca), frutas (abacaxi, banana, maçã, morango e uva), material escolar (caneta, lápis, régua e tesoura), meios de transporte (avião, bicicleta, caminhão, carro e ônibus), mobília (cadeira, cama, banco, mesa e sofá) e utensílios de cozinha (copo, faca, garfo, panela e xícara). Os cartões foram apresentados em três seqüências diferentes evitando a exposição seguida de duas figuras com o mesmo atributo que compartilhassem alguma categoria.

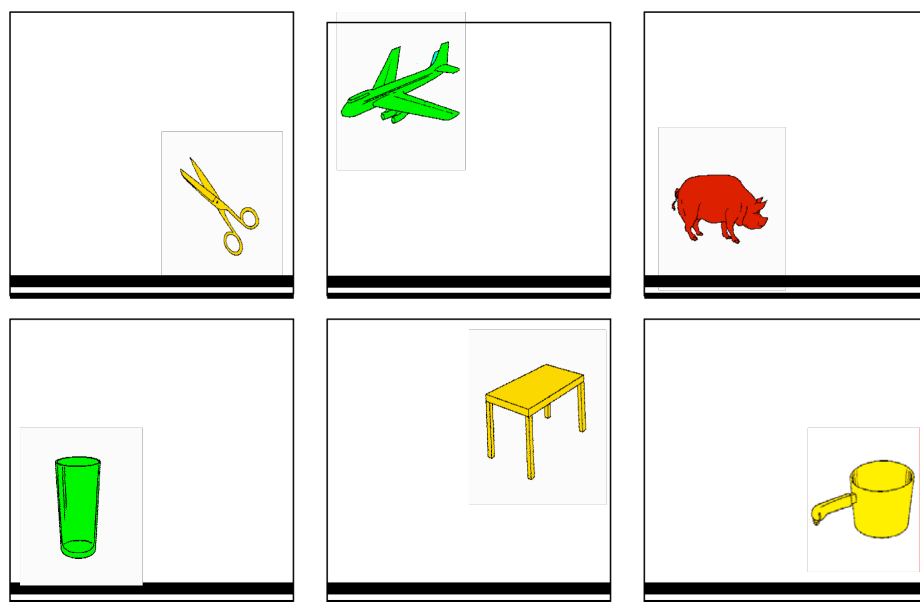


Figura 2: Exemplos de cartões utilizados no experimento comportamental. Fonte: Mello [2].

Foi solicitado às crianças para desempenharem cinco tarefas com o conjunto de cartões sendo: (1) Nomeação, em que os estímulos eram apresentados individualmente em ordem semi-aleatória e, em seguida, era solicitado sua nomeação; (2)

Recordação Livre Imediata, em que após o recolhimento dos cartões exibidos solicitava-se sua recordação em qualquer ordem; (3) Associação Livre, onde os cartões eram dispostos todos sobre a mesa em formato de matriz de seis linhas e cinco colunas, respeitando-se a ordem exibida na primeira tarefa, sendo solicitada a seleção em conjuntos de cartões “que combinassem”; a seguir, solicitava-se a explicação sobre como os itens selecionados combinavam; (4) Recordação Livre Tardia, em que após um intervalo de vinte minutos sem a presença dos cartões, solicitava-se nova recordação dos mesmos em qualquer ordem; e (5) Recordação com Pistas, realizado em continuidade ao teste de Recordação Tardia, em que depois da criança recordar todos os itens que pudesse no teste anterior, o examinador oferecia um pista verbal envolvendo as categorias a que os estímulos pertenciam, como forma de estimular a lembrança de itens adicionais.

Os resultados da tarefa de Associação Livre foram avaliados no contexto da teoria de formação de conceitos de Vygotsky [15] (apud [2]), que destaca a possibilidade de associação (a) perceptiva pela cor das figuras ou sua localização nos quadrantes dos cartões, (b) associação difusa, baseada em experiências concretas, reais ou inventadas pelos investigados, em relação às figuras associadas, ou ainda respostas isoladas sem categorização, (c) associação funcional por atributos conceituais comum aos estímulos, como função, localização, material ou parte constituinte, e (d) associação taxonômica, baseada no rótulo verbal super-ordenado, ou categoria, ou ainda por associação fonológica dos mesmos.

3 Modelagem e Resultados Obtidos

Os desafios iniciais deste projeto foram o de identificar qual melhor abordagem para representar adequadamente o problema proposto por Mello e Xavier [2] e o de traduzir as informações dos experimentos neuropsicológicos “in vivo” em algoritmos implementáveis computacionalmente, ou seja, “in silico”.

A criação de uma ferramenta computacional voltada para a experimentação de processos de memorização possui uma forte demanda por parte dos pesquisadores da área biológica por possibilitar testes de hipóteses e abordagens anteriores e preparatórios ao experimento real com pessoas, que necessita de observação criteriosa de condutas, procedimentos e legislação pertinentes.

O simulador completo será constituído de quatro partes que serão desenvolvidas para reproduzir computacionalmente o experimento descrito no item 2 deste artigo. Assim, inicialmente, foram codificadas as informações dos cartões, que contêm as imagens extraídas de Snodgrass e Vanderwart [14], para simular os testes de Nomeação e Recordação Livre Imediata (Figura 2).

Como estratégia de experimentação computacional, foram implementadas e avaliadas Redes Neurais Artificiais com distintas arquiteturas e algoritmos de treinamento, com o objetivos de obter a melhor solução para o problema proposto.

O objetivo da Rede Neural era, dada uma base de treinamento composta pelas imagens dos cartões de Mello, conseguir reconhecer as mesmas com erro médio quadrático de 0.001, tarefas essas que associamos aos testes de Nomeação e Recordação Livre Imediata, pois o acerto da Rede com erro igual ou inferior ao proposto significaria que ela reconheceu a imagem (“Nomeação”) e “conseguiu recordar” um cartão dado seu estímulo (“Recordação”).

Para seleção e definição da arquitetura final mais eficaz, foram implementadas e testadas algumas estratégias que serão aqui discutidas devido a seu valor qualitativo envolvido.

Os procedimentos propostos por esse artigo iniciaram-se com a extração das imagens dos cartões utilizados nos experimentos reais. Com o objetivo de reduzir a quantidade de informação presente, removeu-se com a função XX do Matlab a componente de cor das imagens, caracterizando-as em escalas de cinza. Após isso, as bordas das figuras dos cartões foram extraídas como proposto originalmente por Snodgrass e Vanderwart, resultando em sua formatação básica, sem preenchimento, somente com suas linhas de contorno.

Essas imagens compuseram a base de treinamento da Rede Neural Artificial tipo MLP (*Multi Layer Perceptron*) com algoritmo de treinamento *Backpropagation*. Os cartões utilizados foram apresentados para a Rede obedecendo a mesma ordem utilizada por Mello.

Após mais de 20 variações de constante de aprendizagem, números de neurônios, quantidade de camada oculta e de épocas de treinamento, concluiu-se que a abordagem não antigir os índices de erros desejados.

Optou-se, então, em modificar a arquitetura e o algoritmo das Redes mantendo a mesma base de treinamento. Assim, neste segundo momento foram testadas as redes *Radial Basis Function* (RBF), a *Self Organization Map* (SOM) e a *Learning Vector Quantization* (LVQ), todas com resultados insatisfatórios para o reconhecimento de imagens pretendido.

Após esse processo de análise, discutiu-se a necessidade de filtrar e tratar as imagens para posterior composição da base de treinamento. Embora pareça óbvio neste momento, essa opção não foi inicialmente pensada devido à simplicidade de constituição e aparente discrepância (visual) entre as figuras de Snodgrass, o que, pensava-se, seria suficiente para o reconhecimento também por um software.

Novamente após uma série de análises e processos de tratamento de imagens, chegou-se ao pré-processamento correto que as figuras deveriam ser submetidas para posterior montagem da base de treinamento das Redes. Esse pré-processamento caracterizou-se pelo retorno ao padrão colorido das imagens (e não mais utilizá-las somente com contornos), análise de

frequência e amplitude com Transformada Rápida de Fourier e extração das média dos vetores resultantes com normalização dos resultados obtidos.

Embora as imagens se apresentassem visualmente muito diferentes (mesa versus frigideira, por exemplo), a análise de Fourier das mesmas demonstrou que elas não se diferenciavam tanto assim, fato este que nos surpreendeu. Esta análise pode ser visualizada na Figura 3.

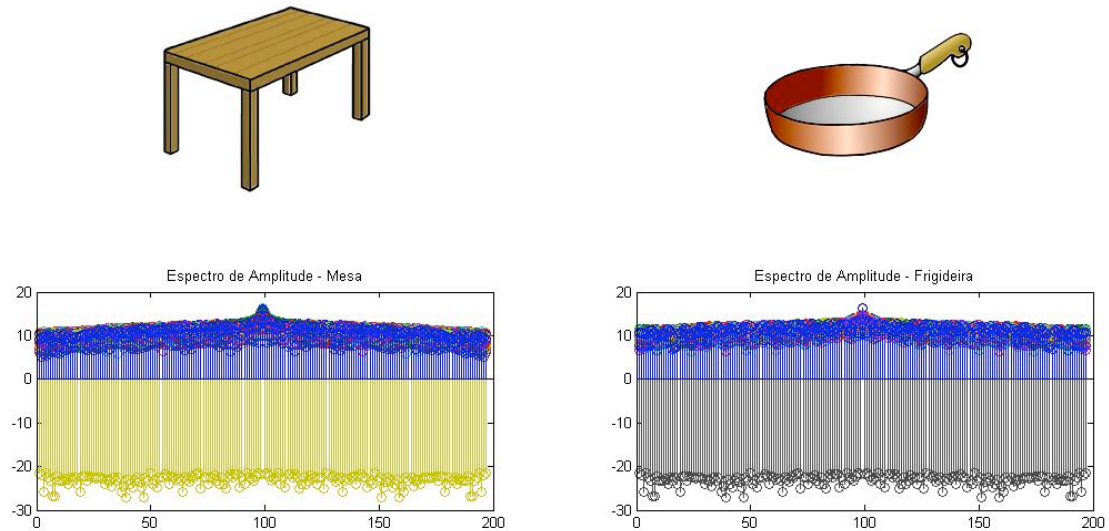


Figura 3: Análise em frequência das figuras utilizadas por Mello.

Essa proximidade dos padrões das imagens foi constatada no grupo das figuras de Snodgrass utilizadas por Mello. Verificou-se que essa característica estava comprometendo o desempenho das Redes testadas anteriormente.

Com essa nova base pré-processada, duas redes foram testadas, ambas tipo MLP com algoritmo *Backpropation*, construídas com duas camadas intermediárias com funções de ativação tangente hiperbólica e com função de base radial, ambas contendo 60 e 25 neurônios respectivamente nas camadas de entrada e oculta, e uma camada de saída com um neurônio tipo linear para discriminação dos padrões.

Os resultados finais foram altamente satisfatórios demonstrando que as Redes Neurais implementadas “aprenderam” os estímulos apresentados conseguindo “nomeá-los” e “recordá-los” corretamente na fase de testes do sistema.

Tabela 1 – Comparação dos resultados das duas abordagens de Redes Neurais para reconhecimento dos cartões

	Tipo da Rede	
	MLP Backpropation	MLP RBF
Erro Médio Quadrático Mínimo (em Treinamento)	0.744183	0.001
Quantidade de Épocas (Interações)	30.000	101.550
Erros Mínimo / Máximo (%) - Fase de Teste	0.0064 / 29.4456	0.0042 / 0.4949

4 Conclusões

Através desta pesquisa pôde-se analisar e constatar as propriedades computacionais e estruturais no domínio da frequência das imagens de Snodgrass [14], muito utilizadas em experimentos cognitivos, mostraram um resultado além daqueles inicialmente esperados, e que serão analisados futuramente em trabalhos específicos.

Sobre os objetivos inicialmente pretendidos, concluímos que as técnicas de Redes Neurais Artificiais, particularmente a RBF, permitiu a correta simulação dos experimentos iniciais de Mello e Xavier [2], obtendo-se erros de aproximação muito baixos, conforme visto na Tabela 1, embora a base de treinamento apresentasse apenas um único exemplar de cada imagem fornecida pelo conjunto de Snodgrass.

Assim, demonstrou-se que as propriedades de aprendizagem das Redes Neurais Artificiais podem ser altamente exploradas para modelagem e simulação de experimentos cognitivos, constituindo-se em uma importante ferramenta de análises e testes primários.

A próxima etapa desta pesquisa será a extração das características qualitativas das imagens utilizadas por Mello [2], como cor, forma, categoria, frequência na linguagem, entre outras a serem pesquisadas, que constituirá a base de dados da Rede Neural Artificial para modelagem do experimento de categorização das imagens apresentadas, chamado de “Associação Livre” no experimento cognitivo.

A expectativa é que essa segunda Rede Neural tenha como entrada adicional a saída da Rede RBF aqui apresentada caracterizando uma arquitetura em cascata.

Para isso, outros tipos de neurônios artificiais, como os neurônios com plasticidade sináptica descrito em Ropero Peláez [16], e outros algoritmos de Inteligência Artificial serão pesquisados e analisados.

Referências

- [1] Xavier, G. F., Helene, A. F. Interfaces Entre A Psicologia E As Ciências Biológicas. Um Olhar A Partir Da Biologia. In: Antonio Virgilio Bittencourt Bastos; Nádia Maria Dourado Rocha. (Org.). Psicologia: Novas Direções No Diálogo Com Outros Campos De Saber. 1 Ed. São Paulo: Casa Do Psicólogo, 2007, V. 1, P. 185-246.
- [2] Mello, C. B., Xavier, G. F. Tese de Doutorado em Neurociências e Comportamento: Estratégias de memória e formação de conceitos em crianças de sete a quatorze anos de idade. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2003.
- [3] Santos, F. H., Mello, C. B., Xavier, G. F., Bueno, O. F. A. Fluência verbal semântica em crianças de 4 a 10 anos de idade. Anais da XVI Reunião Anual da Federação das Sociedades de Biologia Experimental. Caxambu, Brasil, 2002.
- [4] Xavier, G. F. “Memória: Correlatos Anátomo-Funcionais”, in Neuropsicologia, 7: 107-129, 1996.
- [5] Izquierdo, I. Memória. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- [6] Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A. Neurociências: Desvendando o Sistema Nervoso. 2ª Edição. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- [7] Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M. Princípios da Neurociência. 4ª Edição, Monole, 2003.
- [8] Lent, R. Cem Bilhões de Neurônios: Conceitos fundamentais de Neurociência. São Paulo: Editora Atheneu, 2001.
- [9] Xavier, G. F. “A Modularidade da Memória”, in Psicologia USP, 4: 61-115, 1993.
- [10] Rosenthal, O., Fusi, S. Hochstein, S. Forming classes by stimulus frequency: Behavior and theory, PNAS, Vol. 98, 7: 4265-4270, 2001.
- [11] Baddeley, A. D. Human Memory: Theory and Practice. Psychology Press, 1997.
- [12] Haykin, S. Redes Neurais Artificiais: Princípios e prática. 2 ed., Porto Alegre: Bookman, 2001.
- [13] Lomônaco, J. B. F., Paula, F. V., Mello, C. B., Almeida, F. A. Desenvolvimento de conceitos: o paradigma das transformações. Psicologia: Teoria e Pesquisa, 17(2): 161-168, 2001.
- [14] Snodgrass, J. G., Vanderwart, M. A Standardized Set of 260 Pictures: Norms for Name Agreement, Familiarity, and Visual Complexity. Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 6:174-215, 1980.
- [15] Vygotsky, L.S. An Experimental Study of Concept Formation. In: Rieber RW e Carton AS (eds): The collected Works of LS Vygotsky: Problems of General Psychology Vol 1 New York: Plenum Press. Trabalho publicado originalmente em 1934, 1987.
- [16] Ropero Peláez, J.; Piqueira, J. R. C. Biological clues for up-to-date artificial neurons. In: Diego Andina; Duc Truong Phan. (Org.). Computational Intelligence: for Engineering and Manufacturing. 1 ed. Berlin: Springer, v. 1, p. 131-146, 2006.
- [17] Aguiar, M. A., Furucho, R. A., Netto, Márcio L. Modelling And Simulation Of The Memory Inspired From The Biological Systems Of Human Beings (M.In.D.) In: II Simpósio de Neurociências de Natal, 2007, Natal, RN. Resumos do II Simpósio De Neurociências De Natal, P.80 – 81, 2007.
- [18] Aguiar, M. A., Netto, Márcio L. Computational System Simulator Of The Memory Inspired By The Biological Systems Of Human Beings (M.In.D) In: The 4th Congress Of Federation Of Asian-Oceanian Neuroscience Societies - Faons, 2006, Hong Kong. Program Of The 4th Congress Of Federation Of Asian-Oceanian Neuroscience Societies. Hong Kong, V.1. P.21 – 21, 2006.
- [19] Anderson, J. R. Aprendizagem e Memória: Uma abordagem integrada. Rio de Janeiro; LTC, 2005.
- [20] Kovacs, Z. L. O Cérebro e a Sua Mente: Uma introdução à neurociência computacional. São Paulo: Edição Acadêmica, 1997.
- [21] Ropero Peláez J. A Formal Representation of Thalamus and Cortex Computation. Proceedings of the International Conference of Brain Processes, Theories and Models. Edited by Roberto Moreno-Díaz and José Mira-Mira. MIT Press, 1996.