

Mecanismos Neurais da Memória Procedural

Vania Daniela Ramos da Silva¹

¹ Mestranda da Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação / UNICAMP. Departamento de Semicondutores, Instrumentos e Fotônica - Laboratório de NanoEngenharia e Diamante.

Introdução

A memória é a capacidade que o homem e os animais têm de armazenar informações que possam ser recuperadas e utilizadas posteriormente. São vários os processos da memória, o primeiro deles é a aquisição (aprendizagem), seguindo-se a retenção durante tempos variáveis. A retenção por curtos períodos pode ser transformada em retenção de longa duração pelo processo da consolidação da memória. Em ambos os casos pode haver evocação (lembança) ou esquecimento das informações memorizadas (CARNEIRO, 2008; LENT, 2001; KANDEL et.al, 2000).

Para que a memória de curto prazo seja convertida à memória de longo prazo que pode ser evocada semanas ou anos mais tarde, esta tem que ser consolidada. Isto é, a memória deve, de algum modo iniciar as alterações químicas, físicas e anatômicas nas sinapses que são responsáveis pelo tipo de memória a longo prazo. Esse processo requer 5 a 10 minutos para a consolidação mínima e 1 hora para a consolidação forte (GUYTON, 1997).

As alterações da capacidade de transmissão sináptica de um neurônio, que ocasionam a memória, podem ser moduladas, enfraquecidas ou intensificadas, por diversos neurotransmissores presentes nas áreas encefálicas envolvidas no processo de formação de memória, como por exemplo, a amígdala. A amígdala está situada no lobo temporal, comunica-se com áreas envolvidas nos processos de memória, como o hipocampo e córtex, e parece ter função na associação emoções-memória (LENT, 2001; KANDEL et. al, 2000; GUYTON, 1997).

A memória pode ser classificada como Implícita ou Explícita, com base em como a informação é armazenada e recuperada. A primeira está relacionada à *como* aprendemos fazer coisas, aquisição de habilidades motoras ou perceptivas que a consciência não tem acesso, enquanto na segunda a aprendizagem está relacionada sobre *o que* é o mundo, a aquisição de conhecimento sobre as pessoas, lugares e coisas que são acessíveis à consciência (LOMBROSO, 2004; LENT, 2001; KANDEL et.al, 2000).

A memória explícita ou declarativa pode ser classificada em episódica, quando envolve eventos datados, isto é, relacionados ao tempo; ou semântica, quando envolve eventos atemporais (LENT, 2001; KANDEL et.al, 2000).

A memória implícita, ou não declarativa, pode ser classificada em quatro tipos: memória de representação perceptual, que corresponde à imagem de um evento preliminar à compreensão do que ele significa; memória de procedimentos, que se trata dos hábitos, habilidades e regras em gerais; memória associativa e não-associativa, ambas relacionam a algum tipo de resposta ou comportamento (LENT, 2001; KANDEL et.al, 2000).

Memória de Procedimento

A memória de procedimento trata-se dos hábitos, habilidades e regras, funções que memorizamos sem sentir e utilizamos sem tomar conhecimento, normalmente atividades sensório-motoras. Por exemplo: tocar instrumento musical, saber andar de bicicleta, saber amarrar os sapatos e uso de regras gramaticais.

A memória de procedimentos é dependente de treino e repetição, sendo que após sua consolidação ela é bastante sólida (LOMBROSO, 2004; LENT, 2001), tem uma qualidade automática e reflexiva e sua formação e recordação não são absolutamente dependentes da capacidade de ter ou de tomar conhecimento ou de processo cognitivo (KANDEL et.al, 2000).

Estudos mostram que o ensaio ou a repetição da mesma informação por muitas vezes na mente acelera e potencializa o grau de transferência da memória a curto prazo para a memória a longo prazo, e portanto também acelera e potencializa o processo de consolidação (GUYTON, 1997).

Acredita-se que estruturas corticais temporais e límbicas estão classicamente relacionadas à memória explícita, enquanto estruturas córtico-cerebelares e estriatais, à memória de implícita (SILVA et al, 2007; LENT, 2001).

As teorias atuais entendem que os processos de memória são localizados em regiões específicas do cérebro e dependem de muitas regiões cerebrais, sendo que diferentes tipos de memória são armazenados em regiões distintas. Apesar dessem conhecimentos os mecanismos neurais da memória não são completamente conhecidos (LOMBROSO, 2004; LENT, 2001; KANDEL et.al, 2000; GUYTON, 1997).

Tendo em vista que os mecanismos envolvidos na formação da memória não são conhecidos claramente, este trabalho tem por objetivo principal estudar os mecanismos neurais envolvidos no processo de formação de memória, mais especificamente a memória de procedimentos. O objetivo secundário do presente trabalho é propor um modelo de memória para implementação em um sistema artificial de cognição.

No intuito de entender os processos de memória serão apresentados alguns autores que desenvolveram estudos relativos à memória e à aquisição de habilidades.

Aprendizagem e Memória

Segundo Lombroso (2004), para a formação de memória de longo prazo é necessário modificação estrutural e funcional nos neurônios. Alterações morfológicas nas sinapses devem ocorrer permitindo a formação de novas sinapses e fortalecimento das antigas, sendo esse fenômeno denominado plasticidade sináptica (Lombroso, 2004).

Uma série de eventos intracelulares é necessária para que ocorram as modificações estruturais nas sinapses requeridas para o aprendizado, como liberação de neurotransmissores e formação de proteínas. Deficiências de proteínas participantes da plasticidade sináptica podem estar associadas a patologias em que a aquisição e consolidação da memória estão prejudicadas, por exemplo: neurofibromatose e síndrome Rubenstein-Taybi (Lombroso, 2004).

Aquisição de habilidades motoras

Ações motoras são adquiridas e refinadas dentro de um contexto, sendo esse contexto composto por diversos fatores que delimitam o comportamento motor emergente. Esses fatores são denominados de restrições e categorizados em três grupos: organismo, ambiente e tarefa (Barela, 1999).

A aquisição de habilidades motoras é o resultado do acoplamento entre percepção e ação, ou seja, a relação entre as ações realizadas pelo executante e as conseqüências sensoriais provenientes desta ação. No início da aprendizagem, a criança tem grande variabilidade de escolha de movimento, mas essa variabilidade

decai com o fortalecimento e refinamento da habilidade (Barela, 1999).

Então, no adulto a performance das habilidades motoras é determinada por um acoplamento estável da percepção-ação (Barela, 1999) que pode caracterizar a dependência de treino da aquisição de hábitos e sua estabilidade após consolidação.

Memória Implícita e Reabilitação de Paciente Amnésico

A memória implícita é adquirida através da exposição repetida a um estímulo ou atividade, e estas experiências podem ser aferidas pela melhora no desempenho do indivíduo, já que são expressas de maneira inconsciente e não intencional. (Bolognani, 2000).

Os indivíduos amnésicos apresentam a capacidade de adquirir habilidades perceptivo-motoras preservadas, o que pode ser observado através do efeito de pré-ativação (priming), de condicionamento e de aquisição de habilidades (Bolognani, 2000).

No entanto, indivíduos amnésicos não conseguem transpor o conhecimento adquirido para contextos diferentes, o que caracteriza a aprendizagem implícita como rígida e hiperspecífica, não permitindo ao paciente fazer uso flexível do que foi aprendido em outros contextos (Bolognani, 2000).

Avaliação da Memória Implícita e Explícita

Memória Implícita está relacionada à capacidade de evocar, involuntariamente, informações armazenadas. A avaliação da memória explícita em humanos geralmente consiste em testes de reconhecimento e recordação de histórias, frases ou palavras, enquanto a avaliação da memória implícita em testes de identificação de fragmentos de figuras ou complementação de

fragmentos ou conjuntos e letras que representam inícios de palavras (Pompéia e Bueno, 2006).

No entanto, é difícil a separação entre memória implícita e explícita em indivíduos normais, pois ambas as estratégias de memória podem ser empregadas conjuntamente na realização do teste. Mas, em indivíduos amnésicos há uma evidência na dissociação do desempenho da memória implícita e explícita, o que sugere que elas estariam armazenadas em lugares distintos no cérebro (Pompéia e Bueno, 2006).

Modulação Neural - Efeito do Treino

A exposição repetida a objetos melhora a capacidade de identificá-los e nomeá-los, sendo que áreas cerebrais distintas são ativadas durante a identificação e recordação dos objetos (Tunennout et al, 2003).

Segundo Tunennout et al, (2003), o fluxo sanguíneo nas áreas cerebrais durante a visualização de uma determinada figura desconhecida após o treino evidencia uma supressão da atividade occipitotemporal (região relativa ao nome dos objetos) e região frontal inferior esquerda (área de formação das palavras – Broca), enquanto teve um aumento da função da ínsula esquerda e gânglios da base (regiões envolvidas nos processos de memória).

Esses dados sugerem existir regiões cerebrais específicas para aquisição de informações e evocação das informações sobre o objeto.

Memória de Procedimentos e SPECT cerebral

Baseado na hipótese era de que haveria uma ativação simultânea das áreas cerebrais durante a realização de uma tarefa visuomotora, no intuito de integrar uma informação sensorial e motora, Silva et.al (2007) realizou a quantificação do fluxo sanguíneo cerebral, que pode ser realizada por SPECT (tomografia por emissão de fóton único),

durante uma tarefa visuomotora (memória de procedimento).

As imagens do fluxo cerebral foram realizadas antes e após o treino da tarefa desejada e 24 horas após o treino, sendo as áreas cerebrais de interesse: área pré-frontal direita e esquerda e 4 subdivisões traçadas no cerebelo (Silva et.al, 2007).

Os resultados apontaram para uma ativação simultânea de todas as áreas avaliadas durante a tarefa, sugerindo um modo de operação em paralelo do sistema nervoso central, no intuito de integrar uma informação sensorial e motora., seja no constante planejamento da ação feita pelo córtex pré-frontal, quanto na retro-alimentação real do erro, que é realizada pelo cerebelo (Silva et.al, 2007)

Ansiedade, Cognição e Hábito: Múltiplos sistemas de Memória

Há evidências de que a memória de mamíferos é organizada por múltiplos sistemas, sendo o hipocampo importante no aprendizado e memória declarativa, o estriado dorsal (núcleo caudado) na memória procedural e a amígdala, que é uma região cerebral relacionada à emoção, na modulação dos processos de memória que ocorrem em outras regiões encefálicas (Packard, 2009).

Packard (2009), com a intenção de verificar a influência do estado emocional na utilização de sistemas múltiplos de memória em animais utilizou injeção intra-amígdala de drogas ansiogênicas previamente à execução de tarefas que exigem o uso de memória episódica ou de memória procedural.

Esse método foi suficiente para propiciar o uso da memória dependente do estriado dorsal (memória de hábitos) e conduzir a um perfil comportamental que indica um prejuízo na ação da

memória dependente do hipocampo (Packard, 2009).

Esses dados indicam que na ansiedade e/ou estresse emocional predomina o uso da memória de hábito. Esse fato por ter implicações na compreensão do papel dos processos de aprendizagem e da memória nas psicopatologias, como o estresse pós-traumático e uso de drogas.

Evidências indicam que o núcleo caudado (estriado dorsal) é uma parte independente do sistema de memória que modulam a memória de procedimento.

Gânglios da Base e Aprendizagem

Os gânglios da base são massas de substâncias cinzentas distribuídas pelo cérebro que se relacionam com o córtex motor e por isso participam do controle dos movimentos. Constituem-se de 5 núcleos principais: núcleo caudado e putâmen, que formam o estriado; globo pálido, núcleo subtalâmico e substância negra (Prado, 2007).

No ser humano podemos identificar claramente a presença do aprendizado de hábito dependente do estriado, que é uma das estruturas que formam os núcleos da base; há evidências de déficits nesse tipo de aprendizado em pacientes com doença de Parkinson (Takayasu, 2007).

Wilkinson & Jahanshahi, (2007), com a finalidade de investigar a participação dos gânglios da base na aprendizagem implícita examinaram indivíduos com Doença de Parkinson e indivíduos saudáveis e observaram que tanto os indivíduos saudáveis quanto os parkinsonianos demonstram capacidade de aprender. Entretanto, o valor da aprendizagem foi significativamente reduzido no grupo de paciente, indicando que a via de aprendizagem implícita está danificada ou atenuada no parkinsoniano.

Lesão da Substância Negra e Avaliação Memória de Hábitos

A perda progressiva de neurônios dopaminérgicos da substância negra leva os pacientes portadores da doença de Parkinson a um declínio acentuado no que se refere às habilidades de execução de tarefas motoras simples, levando-os a um quadro de dependência e perda de autonomia (Takayasu, 2007).

O estriado dorsal recebe aferências tanto do córtex como da substância negra. No caso da memória de hábito a via córtico-tálamo-estriatal é usada para produzir respostas motoras na presença de uma informação sensorial particular - habilidade específica pra determinada ação (Takayasu, 2007).

Takayasu (2007), através de modelos animais com lesões que mimetizam a Doença de Parkinson identificou que há um déficit na memória de hábitos dos animais lesados quando comparados com os animais controles.

Armazenamento da Memória

Segundo Kandel (2002), o armazenamento da memória é realizado em etapas que pode ser evidenciado na figura 1. A entrada do cérebro é processada por um depósito de curto prazo que tem uma capacidade muito pequena (menos de 12 itens) e não ocorrendo ensaio persiste apenas por alguns minutos. A informação é, depois, transformada em depósito de longo prazo, mais duradouro. Um sistema de busca -e- recuperação procura no depósito da memória e faz com que a informação fique disponível para tarefas específicas. Alternativamente, as memórias podem ser perturbadas por interferência com o mecanismo de busca -e- recuperação ou pode ter destruição do conteúdo da memória.

Estruturas Neurais da Memória Procedural

Através de um processamento em paralelo e mecanismos de feedback, algumas áreas cerebrais específicas estão envolvidas nos processos da memória procedural.

A aquisição de algum evento, ligado à memória, como um som, um objeto, uma sensação tátil, é realizada pelos órgãos sensoriais. O armazenamento temporário dessas informações é realizado pelo córtex cerebral, de acordo com sua função, por exemplo: área motora, área correspondente aos nomes de objetos, áreas da fala (expressão da fala e compreensão da fala), área visual, de associação somatosensorial, etc.

A consolidação das habilidades está relacionada com as funções dos gânglios da base e cerebelo. Ambos possuem interação com o córtex e com vias de saída do movimento, sendo que o primeiro está relacionado com a execução de padrões complexos de atividade motora como escrita, cortar papel, vocalização e habilidades em geral. Já o cerebelo realiza o controle do equilíbrio, movimentos posturais e planejamento dos movimentos sequenciais

Implementação da Memória Procedural

A figura 2 propõe um modelo de implementação de memória procedural em um sistema de cognição artificial considerando o modelo de armazenamento da memória, as características e estruturas neurais envolvidas na memória procedural.

Considerando a habilidade de escrever uma palavra, o funcionamento do modelo de memória procedural aconteceria da seguinte forma:

1) Informações sensoriais entram pelos órgãos sensoriais. A informação sensorial pode ser do tipo auditivo (se a palavra for falada por alguém), visual (se a palavra for lida), tátil (referente a informações sobre o material utilizado

para escrever) e proprioceptivo (relativo à percepção da posição da mão no ato de escreve).

2) As informações entram e vão para áreas de representação motora e de integração sensório-motora, que corresponde à memória de curto prazo.

3) Dois módulos controladores do movimento, gânglios da base e cerebelo, fazem conexão com o módulo de memória de curto prazo e, assim como o módulo de emoção e treino, influenciam a consolidação da atividade de escrever na memória de longo prazo.

4) Após consolidação, quando tiver que realizar novamente a mesma atividade os processos de comunicação entre os módulos ocorrerá mais rápido.

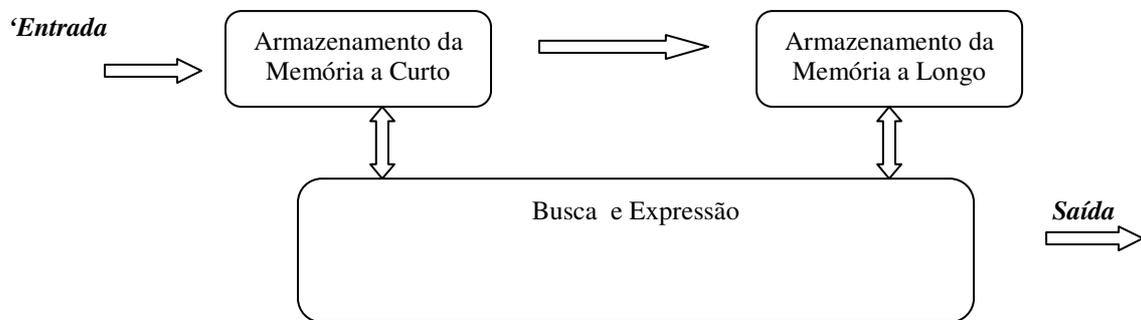


Figura 1. Modelo dos Processos de Memória durante uma Tarefa (Kandel, 2002)

Entrada: Órgãos Sensoriais

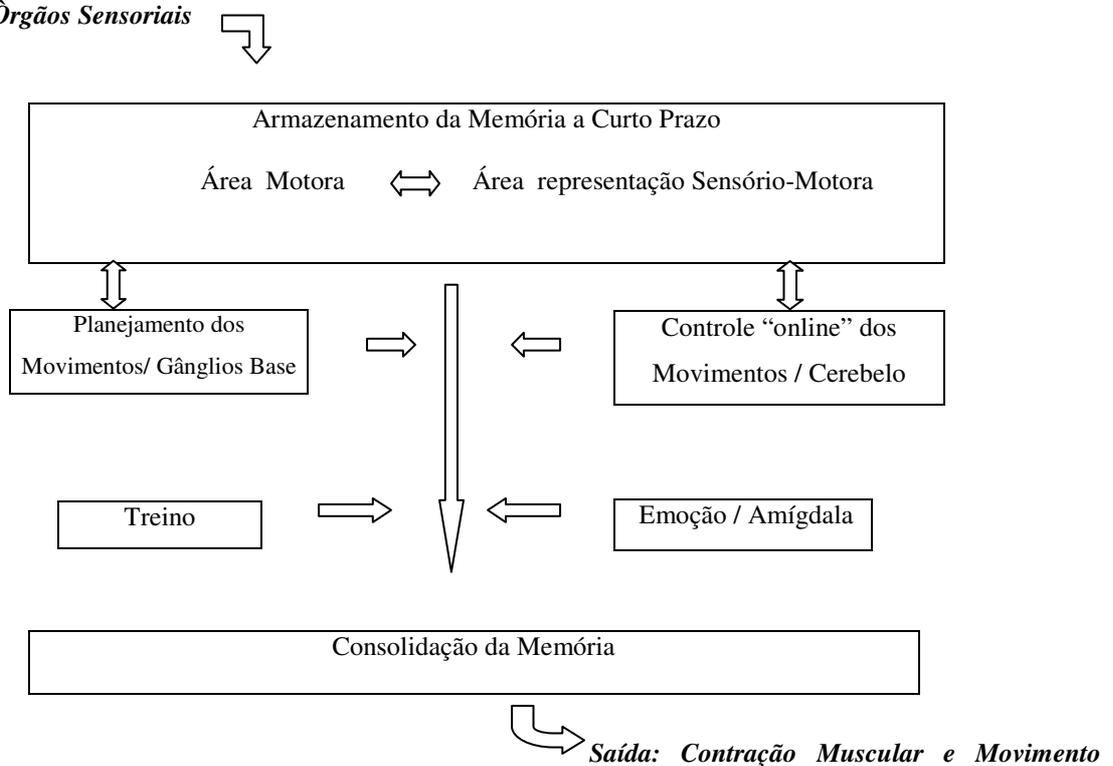


Figura 2. Modelo de Memória de Habilidade em um Sistema de Cognição Artificial

Conclusão

Os mecanismos neurais da memória não são completamente conhecidos, mas as evidências experimentais e as observações clínicas têm levado a considerar a memória como um sistema múltiplo. Esses sistemas são modulados por vias em atuam em paralelo e se comunicam por mecanismos de feedback.

A memória de habilidades é dependente de treino, ou seja, tarefas pouco executadas em um determinado espaço de tempo são esquecidas; é estável, ou seja, depois de consolidada dificilmente é esquecida ou modificada por lesões cerebrais; e tem especificidade, que se refere ao fato de uma habilidade ser específica para determinados contextos, por exemplo, a habilidade de um indivíduo saber tocar muito bem piano não lhe confere a mesma habilidade para tocar guitarra.

Portanto, a memória de procedimento de um sistema artificial de cognição deve apresentar características como múltiplos submódulos dentro do módulo que forma a memória, comunicação em paralelo entre os módulos, controle das informações aferentes e eferentes por feedback, um módulo de emoção e outro de treino interferindo na consolidação da memória.

Referências Bibliográficas

- BARELA, J.A. **Aquisição de Habilidades Motoras: do Experiente ao Habilidadeoso.** *MOTRIZ - Volume 5, Número 1, Junho/1999.*
- BOLOGNANI, S.A.P.; GOUVEIA, P.A.R.; BRUCKI, S.M.D.; BUENO, O.F.A. **Memória Implícita e sua Contribuição à Reabilitação de um Paciente Amnésico.** *Arq Neuropsiquiatr* 2000;58(3-B):924-930.
- CARNEIRO, M.P. **Desenvolvimento da Memória na Criança: O que Muda com a Idade?** *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 21(1), 51-59.
- GUYTON, A.C.; HALL, J.E. **Fisiologia Humana e Mecanismos das Doenças.** 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998
- KANDEL, E.R.; SCHWARTZ, J.H.; JESSELL, T.M. **Fundamentos da Neurociência e Comportamento.** Rio de Janeiro Guanabara Koogan, 2002. LENT, R. **Cem bilhões de Neurônios – Conceitos Fundamentais da Neurociência.** São Paulo: Editora Atheneu, 2001.
- LOMBROSO, P. **Aprendizado e memória.** *Rev Bras Psiquiatr* 2004;26(3):207-10.
- PACKARD, M.G. **Anxiety, cognition, and habit: A multiple memory systems perspective.** *Brain Res.* (2009), Doi:10.1016/j.brainres. 2009.03.029.
- POMPEIA, S. BUENO, O.F.A. **Um Paradigma para Diferenciar o Uso de Memória Implícita e Explícita.** *Psicologia: Reflexão & Crítica*, 19 (1), 83-90.84, 2006.
- PRADO, A.L.C. **Avaliação da Memória Emocional na Doença de Parkinson.** [Tese]. Brasília : UNB/Universidade de Brasília, 2008.
- SILVA, M.T.; PIEDADE, R.; RIBEIRO, P.; FONSECA, L.M.B.; PELLINI, M.P.; COGY, M. **Memória de Procedimentos e SPECT cerebral: Avaliação de Fluxo Sanguíneo Cerebelar e em Córtex Pré-Frontal Durante uma Tarefa Visuo-Motora.** *Arq Neuropsiquiatr* 2007;65(2-B):476-481.
- TAKAYASU, S.M.G. **Ratos com Lesão Unilateral da substância Negra, parte compacta, Apresentam Prejuízos Sensoriais, Motores e de Hábito no Aprendizado da Tarefa do Labirinto Radial de 7 – Braços.** [Dissertação]. Curitiba: UFPR/ Universidade Federal do Paraná, 2007.
- TUNENNOUT, M.; BIELAMOWICZ, L.; MARTIN, A. **Modulation of Neural Activity during Object Naming: Effects of Time and Practice.** *Cerebral Cortex* Apr 2003;13:381-391; 1047-3211/03.

• WILKINSON,L.; JAHANSHAHI,M. **The striatum and probabilistic implicit sequence learning.** Brain Research 1137(2007) 117–130.