

Neurociência e Educação:

Neurociência e Educação:

Edvaldo Soares

Paulo Estevão Andrade

Flávia Cristina Goulart

Como citar: SOARES, Edvaldo; ANDRADE, Paulo Estevão; GOULART, Flávia Cristina. Neurociência e Educação: Memória e Plasticidade. *In* : CARVALHO, Sebastião Marcos Ribeiro de; BATAGLIA, Patricia Unger Raphael (org.). **Psicologia e educação** : temas e pesquisas. Marília: Oficina Universitária; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. p.51-82. DOI: <https://doi.org/10.36311/2012.978-85-7983-340-3.p.51-82>



NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO: MEMÓRIA E PLASTICIDADE

Edvaldo Soares

Paulo Estevão Andrade

Flávia Cristina Goulart

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas vários pesquisadores têm se interessado por investigar mecanismos que possam esclarecer as disfunções na expressão entre o cérebro e o comportamento. Tais pesquisas têm contribuindo significativamente para o desenvolvimento da chamada neurociência cognitiva, a qual tem, entre suas temáticas básicas, o estudo de funções tais como aprendizagem, memória, atenção, emoção, bem como as correlações entre tais funções (BARROS et al., 2004; GAZZANIGA; HEATHERTON, 2005; MARCUS, 2003). Para Gonçalves (2003) um dos objetivos dessa área é relacionar desenvolvimento cognitivo com o desenvolvimento neural, com o objetivo de entender melhor a neurobiologia da cognição, o que significa entender, por exemplo, os mecanismos da aprendizagem. É importante ressaltar que funções tais como atenção, percepção e memória,

são básicos a todos os processos de aprendizagem e, que tais funções possuem correlatos neurobiológicos, ou seja, necessitam das estruturas biológicas do sistema nervoso para sua expressão (ATKINSON et al., 2002; GAZZANIGA; HEATHERTON, 2005; IZQUIERDO; McGAUGH, 2000). Interessante observar que, historicamente, as pesquisas relacionadas ao desenvolvimento neurocognitivo foram dominados e, de certa forma abafados pelo debate *nature-nurture* (qualidades inatas versus adquiridas por experiências pessoais). Porém, especialmente com o desenvolvimento das neurociências, a maioria dos pesquisadores valoriza tanto o papel do controle biológico imposto pelo genótipo e o papel do ambiente na expressão gênica, bem como eventos bioquímicos relacionados ao desenvolvimento das funções cognitivas. Em síntese, o desenvolvimento neurocognitivo depende de uma relação dinâmica e variável entre fatores genéticos e ambientais. Tal evidência não é recente. É importante ressaltar que, no decorrer do processo de desenvolvimento neurocognitivo, novas estruturas são modeladas e remodeladas durante os diferentes estágios de desenvolvimento. Tais modificações funcionais e morfológicas acontecem como resposta adaptativa do organismo às estimulações ou solicitações do ambiente. De acordo com Mantovani (1976), é a partir dessa interação entre o sujeito e o meio que são desencadeadas as assimilações e acomodações, as quais tendem a novos estados de equilíbrios dirigidos à conservação das estruturas ou à produção de modificações. Entender tal complexidade e relaciona-las à educação é uma tarefa que requer uma cooperação multi e interdisciplinar (BARROS et al., 2004; RATO; CALDAS, 2010;). Contudo, cabe ressaltar que, apesar dos avanços nas pesquisas em neurociências, o reconhecimento da importância dessas pesquisas para a educação, especialmente acerca de temas como aprendizagem, memória, plasticidade, atenção, percepção, emoção, é relativamente recente (ANDRADE; PRADO, 2003; GREENLEAF, 1999; JENSEN, 2000) e que, mesmo considerando os avanços da abordagem neurocientífica, especialmente no tocante à cognição, alguns pesquisadores têm questionado a suficiência dessa abordagem para analisar e explicar a relação entre, por exemplo, comportamento humano e função cerebral (NICHOLS; NEWSOME, 1999).

Se há uma ‘desconfiança’ em relação à abordagem em neurociências, por outro lado, os neurocientistas quase não encontram, na literatura relacionada à educação, referências de pesquisas relativas à compreensão dos correlatos neurobiológicos da aprendizagem ou mesmo, referências às pesquisas acerca da relação entre cérebro e comportamento. Em função de tal limitação, relatórios da Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OCDE), referentes aos anos de 2002 e 2007 sugerem uma investigação transdisciplinar que estabeleça pontes entre as ciências do cérebro e as ciências da educação (JOLLES et al., 2006). Também é importante ressaltar que tem aumentado significativamente o número de artigos científicos teóricos que relacionam neurociências e a educação; porém, só um número reduzido desses considera o interesse prático das pesquisas em neurociências para a educação (RATO; CALDAS, 2010; WILLINGHAM; LLOYD, 2007).

Se procurarmos pontos de união entre neurociências e educação, as temáticas acerca da tríade memória, aprendizagem e plasticidade se constituirão em tais pontos (GOSWAMI, 2004). Nesse sentido, temos observado um significativo movimento internacional com o objetivo de formalizar uma conexão entre as neurociências, educação e aprendizagem. Um dos exemplos desse movimento foi a criação, em 2004, do *International Mind, Brain and Education Society* (IMBES) e do seu jornal *Mind, Brain and Education*, em 2007, os quais têm impulsionado a colaboração entre neurocientistas, geneticistas, psicólogos e cientistas da educação (FISCHER, 2009). Tal movimento, conforme Fischer et al. (2007) é salutar, pois, a produção de conhecimento, fundamentado em evidências empíricas e, não em opiniões, modas ou ideologias, pode colaborar para uma melhor compreensão dos contextos de aprendizagem e, assim aumentar a possibilidade de melhoria das políticas públicas de educação e do aprimoramento das práticas educacionais.

O objetivo deste capítulo é apresentar de forma didática, a partir de uma abordagem neurocientífica, bem como discutir epistemologicamente e relacionar com a educação, temas relacionados aos mecanismos de memória, aprendizagem e plasticidade.

MEMÓRIA(S)

Conforme salientamos, a neurociência cognitiva busca a compreensão das relações entre o cérebro e funções mentais superiores, tais como memória, aprendizagem e o comportamento (POSNER; ROTHBART, 2005).

Por memória podemos entender, de forma genérica, o processo pelo qual experiências passadas produzem mudanças de comportamento, mais ou menos duradoras (SOARES, 2003; XAVIER, 1993). De acordo com Ades (1993, p. 9), memória é fundamentalmente uma “[...] intrusão do passado no presente, seja sob a forma de imagens, seja como instruções implícitas ou explícitas de como agir.” Tal intrusão seria uma “viagem no tempo” que, conforme Wheeler, Stuss e Tulving (1997, p. 331), “[...] possibilita uma pessoa reviver experiências retomando situações que ocorreram no passado e projetá-las mentalmente antecipando o futuro através da imaginação.” Ora, essa utilização das informações adquiridas mediante experiências passadas para a interpretação dos eventos presentes e para o planejamento de ações futuras é um dos mais importantes mecanismos de memória, os quais nos levam a novos aprendizados.

Assim, quando nos referimos à memória, estamos na verdade nos referindo a três processos ou momentos diferentes: aquisição (quando os estímulos são processados, de forma consciente ou inconsciente pelo nosso organismo); armazenamento; quando ocorre a decisão de consolidar ou armazenar a informação percebida e a evocação de informações, quando, de forma voluntária ou não, recuperamos as informações consolidadas. Cabe ressaltar ainda que, ‘memória’ é um termo genérico; ou seja, existem diferentes tipos de memória, os quais envolvem diferentes mecanismos de processamento neurofisiológicos e diferentes estruturas cerebrais. Na verdade, há diferentes sistemas de memória, os quais podem ser classificados, de forma genérica, conforme dois critérios básicos: duração e conteúdo.

De acordo com o critério de duração, as memórias podem ser de ‘curta’ (*short-term memory*) e de ‘longa’ duração (*long-term memory*). As memórias de curta duração duram minutos ou horas (p. ex. o que fizemos na última hora), ao passo que, as de longa duração podem durar dias, semanas, meses, décadas (p. ex. as lembranças de nossa infância).

Em relação ao critério de conteúdo, podemos classificar as memórias em dois grandes grupos, conforme proposta de Squire e Zola-Morgan (1991) e Squire (1992): as memórias declarativas (explícitas) e as memórias de procedimento ou hábitos (implícitas); ambas consideradas pelos autores, memórias de longa duração.

MEMÓRIAS EXPLÍCITAS

As memórias declarativas são, como o próprio nome indica, são aquelas que podemos ‘declarar’, ou seja, recuperar conscientemente. São as informações acessíveis. Em outras palavras, são memórias explícitas, ou seja, são aquelas sobre as quais podemos falar, como a festa do final de semana jantar ou os conceitos de química discutidos na aula de química de ontem. As memórias explícitas tem como importante característica, serem flexíveis, ou seja, podem ser prontamente aplicáveis a novos contextos. Por isso podemos, inclusive afirmar que, por exemplo, estudar é na verdade relacionar fatos, eventos, conteúdos, conceitos, idéias, etc. Tais memórias envolvem o pensamento consciente. Salientamos que o fato de que memórias explícitas envolvam pensamento consciente, não significa necessariamente que dependam de nossa vontade, tanto em termos de aquisição, consolidação ou evocação. Tais memórias envolvem a aquisição e a consolidação de associações arbitrárias, mesmo após uma única experiência.

É o tipo de memória prejudicada em pacientes amnésicos, estando associada ao funcionamento do lobo temporal medial, o qual envolve estruturas tais como: o hipocampo, o córtex entorrinal, o córtex parahipocampal e o córtex perirrinal. Além dessas estruturas, ainda estão envolvidos no processamento desse tipo de memória, o diencéfalo, o prosencéfalo basal e córtex pré-frontal (MISHKIN; APPENZELLER, 1987; SQUIRE; ZOLA-MORGAN, 1991). O hipocampo, localizado no lobo temporal medial, talvez seja a principal estrutura envolvida no processo de aquisição desse tipo de memória. Lesões nessa região impedem que os indivíduos estabeleçam novas memórias explícitas. Porém, tal estrutura não está diretamente envolvida no processo de evocação ou recuperação desse tipo de memória, pois estudos clínicos indicam que memórias explícitas mais antigas, que foram consolidadas

antes que ocorresse uma lesão no hipocampo e estruturas adjacentes, podem ser evocadas (MAYES; DAUM, 1997; MISHKIN; APPENZELLER, 1987; NICHOLS; NEWSOME, 1999).

Podemos subdividir as memórias declarativas em dois subgrupos distintos: episódicas e semânticas. As episódicas são memórias autobiográficas, ou seja, se referem àquilo que experienciamos (p. ex., a professora e as aulas de língua portuguesa no colegial). As semânticas se referem aos conhecimentos (p.ex., a gramática da língua portuguesa) adquiridos ao longo da vida.

As memórias episódicas ou autobiográficas se referem, assim, às lembranças subjetivas de nossas experiências, somos capazes de voltar ao tempo e ao contexto em que vivemos, o que contrasta com a armazenagem objetiva e na maioria das vezes descontextualizada, inclusive por deficiências nos métodos de ensino, da memória chamada semântica (Van der LINDEN, 1994). É importante ressaltar que, tanto a memória episódica como a semântica, têm sido consideradas memórias de longo prazo declarativas que associam ao presente as informações que ocorreram no passado. Portanto, são consideradas como memórias retrógradas (WIGGS; WEISBERG; MARTIN, 1999). As memórias episódicas ou autobiográficas fornecem, segundo Wheeler, Stuss e Tulving (1997), mecanismos cognitivos que possibilitam “a viagem pelo tempo”. O sistema nervoso, em seu processo histórico de interação inicial com o ambiente, reage não apenas a estímulos, mas também às contingências espaciais e temporais entre os estímulos. Com o acúmulo de registros referentes à ocorrências anteriores, ou seja, de memórias e com a identificação de regularidades na ocorrência desses eventos, o sistema nervoso passa a gerar previsões (probabilísticas) sobre o ambiente. Então, passa a agir antecipatoriamente e a selecionar as informações que serão processadas, o que confere grande vantagem adaptativa (CAMPOS; SANTOS; XAVIER, 1997; HELENE; XAVIER, 2003).

Quando as informações consolidadas são relacionadas ao tempo futuro, ou seja, relacionam tempos presentes a futuros, compõem aquilo que alguns autores denominam de memória prospectiva (BRANDIMONTE; EINSTEIN; MCDANIEL, 1996; PARENTE; SPARTA; PALMINI, 2001). Por exemplo, quando programamos nos encontrar com determinada

pessoa no final de semana, ativamos mecanismos especiais de memória que permitem, por exemplo, entre outras coisas, avaliar a viabilidade de tal encontro, em função de experiências passadas; construir expectativas, etc. Imaginemos tal mecanismo funcionando em um indivíduo que tem marcada uma aula de matemática para daqui a dois dias; aula esta cujo professor lhe proporcionou momentos de aprendizagem extremamente agradáveis.

Como características principais desse tipo de memória, Wheeler e colaboradores (1997), destacam os conteúdos subjetivos e intencionais como as principais características da memória prospectiva. Para Ellis (1996), a questão temporal é crucial. Somente quando se abre um espaço entre o presente e uma ação futura concreta é que está se exigindo uma memória prospectiva. Por esta razão, este sistema de memória tem recebido diferentes nomes: memória prospectiva (DALLA BARBA, 1993), memória intencional (GOSCHKE; KUHL, 1996; KVAVILASHVILI, 1987); memória para atividades diárias (COHEN, 1991) e memória do futuro (EINSTEIN; DANIEL, 1990).

O lobo frontal tem sido descrito como a principal estrutura envolvida nesse tipo de memória. Cabe destacar que, a região frontal, especialmente o lobo pré-frontal são regiões envolvidas também no planejamento e no processamento emocional (DAMÁSIO, 1996, 2000). Dificuldades em organizar as atividades diárias têm sido descritas em pacientes portadores de lesões frontais adquiridas após traumatismos, acidentes vasculares ou tumores (MAYES; DAUM, 1997; STUSS; BENSON, 1986). Interessante observar que, apesar destes pacientes manterem preservadas diversas funções, tais como motoras, lingüísticas e várias formas de raciocínio, apresentam problemas relativos à adaptação social e à organização de atividades que envolvam planejamento. Em alguns casos, esses pacientes apresentam alterações significativas em relação ao controle emocional. A variabilidade dos sintomas que tais indivíduos apresentam pode, segundo alguns autores, decorrer de diferentes mecanismos cognitivos que dependem da integridade do córtex pré-frontal (DAMÁSIO, 1996; FUSTER, 1999; LURIA, 1966).

Burgess e Shallice (1997) estudaram indivíduos com lesão frontal e observaram que aqueles que possuíam dificuldades de memória retrospectiva (episódica) também possuíam dificuldades em memória

prospectiva. Mas, alguns pacientes só possuíam dificuldades em memória prospectiva. Essas observações indicaram que a memória prospectiva é composta de alguns componentes da retrospectiva além de outros que lhe são próprios. Entretanto, outros trabalhos sugerem a independência da memória prospectiva (BADDELEY, 1978; KVAVILASVILI, 1987). Burgess e Shallice (1997) observaram ainda que tais pacientes com lesão frontal apresentaram dificuldades de organizar suas atividades, ou seja, apresentam dificuldade em termos de planejamento. Tais limitações foram observadas nas seguintes situações: a) quando os comportamentos são guiados por intenções explícitas, geradas anteriormente; b) quando há necessidade de atuar conforme regras pré-estabelecidas e, c) quando é preciso tomar decisões elaboradas em um tempo anterior. De forma geral, pacientes com lesão pré-frontal perdem a capacidade de organizar, por exemplo, a ordem temporal de elementos verbais ou visuais aprendidos (MILNER; CORST; LEONARD, 1991). Entretanto, não se pode ignorar a natureza intencional da memória prospectiva como elemento central, seguida pelo planejamento e pelos processos de recuperação.

MEMÓRIAS IMPLÍCITAS

As memórias de procedimento ou hábitos ou associativas estão entre a categoria de memórias chamadas ‘implícitas’, considerando que normalmente são adquiridas de forma inconsciente. De acordo com Schacter (1987, p. 501), a memória implícita “[...] é revelada quando a experiência prévia facilita o desempenho numa tarefa que não requer a evocação consciente ou intencional daquela experiência.” Por exemplo, aprender a andar de bicicleta ou dirigir um automóvel é um conhecimento de procedimento que depende do aprendizado de habilidades motoras específicas e normalmente requerem múltiplas repetições, ou seja, a aquisição deste tipo de conhecimento requer treinamento repetitivo; sua aquisição ocorre de forma gradual ao longo de diversas experiências. A partir do momento em que ocorre a aprendizagem, a evocação dos movimentos se dá de forma automática. Tal capacidade é altamente adaptativa. Imagine como seria antieconômico, para não dizer perigoso, se, por exemplo, ao dirigirmos um automóvel necessitássemos ‘pensar’ em cada movimento a ser realizado. Nosso mecanismo atencional estaria altamente distribuído, o

que se configura em distribuição de nossa percepção e, conseqüentemente, menor rapidez de resposta aos estímulos. Em síntese, menor qualidade. Há também aspectos de memórias explícitas embutidas nesses exemplos. Podemos recordar a primeira bicicleta que tivemos ou do modelo do carro com o qual aprendemos a dirigir.

A ativação dos gânglios da base e circuitos associados está relacionada a esse tipo de aprendizagem. Assim, lesões envolvendo tais estruturas prejudicam o aprendizado de procedimentos. Por exemplo, portadores da doença de Parkinson ou coréia de Huntington possuem déficits específicos em sua capacidade de aprender habilidades de procedimento que não são explicadas pelos déficits motores. Cohen (1984) acrescenta que a aquisição de memórias de forma implícita depende de mudanças estruturais e funcionais, as quais ocorrem de forma cumulativa a cada ocasião em que o sistema ou redes neurais é acionado. Esse tipo de aprendizagem inclui habilidades perceptuais, motoras e cognitivas, hábitos, os quais estão relacionados ao funcionamento do estriado (MISHKIN; MALAMUT; BACHEVALIER, 1984; KNOPMAN; NISSEN, 1991); pré-ativação, relacionada ao neocórtex, de forma geral (BUTTERS; HEINDEL; SALMON, 1990; HEINDEL et al., 1989); condicionamento clássico simples, relacionado ao funcionamento da amígdala, no que se refere às respostas emocionais (DAVIS, 1992; LEDOUX, 1987) e ao cerebelo no que se refere às respostas da musculatura esquelética (AKSHOOMOFF et al., 1992; THOMPSON, 1990) e aprendizagem não-associativa relacionada às vias reflexas (SQUIRE; KNOWLTON, 1995).

De acordo com alguns autores, o controle da ação se dá através de um 'Sistema Atencional Supervisor' (SAS). Dessa forma, ações, que por meio de repetição, foram aprendidas e automatizadas, são guiadas por 'esquemas', adquiridos por treinamento prévio e disparados por conjuntos de estímulos ou contextos do ambiente (NORMAN; SHALICE, 1980; SHALICE, 1988).

Por exemplo, andar de bicicleta envolve esquemas que ativam sub-rotinas como pedalar, inclinar, virar, equilibrar e breicar. Ao se andar de bicicleta, essas sub-rotinas tornam-se pré-ativadas; um obstáculo à frente seria um estímulo ambiental suficiente para acionar um

“esquema” para breçar ou para desviar. Eventuais conflitos entre as atividades (em curso) de diferentes esquemas seriam solucionados rotineiramente por um “catalogador de conflitos”, também treinado previamente. Porém, quando atividades novas estão envolvidas, ou quando um estímulo urgente ou ameaçador é apresentado, o SAS assume o controle da ação. Este sistema teria a prerrogativa de inibir e de ativar esquemas diretamente, e sua atividade predominaria sobre a do catalogador de conflitos. (HELENE; XAVIER, 2003, p. 14).

Obviamente, pelo ponto de vista neurobiológico, a função do SAS, por estar intimamente ligada à memória de procedimento, também está relacionada à atividade dos lobos frontais (DUNCAN, 1986; SHALICE, 1982, 1988; SHALICE; BURGESS, 1991, 1993, 1996). Conhecido como a parte racional e social do cérebro, mais especificamente, o córtex pré-frontal é a parte evolutivamente mais recente do neocórtex e se comunica com importantes regiões perceptivas por meio de seus neurônios altamente multimodais (MESULAM, 1998). Além de sua extrema importância para o SAS e para a linguagem o córtex pré-frontal é o principal centro do planejamento com vastas áreas dedicadas à memória de trabalho (ou de curto-prazo) e outras áreas dedicadas ao controle dos impulsos emocionais e do comportamento social em todos os primatas. Ele ocupa uma porção maior nos primatas do que nos outros animais e maior no cérebro humano do que nos outros primatas (GEAGY, 2002).

Interessante acrescentar que, lesões nessa região, normalmente levam à perseverança comportamental e/ ou ao aumento da distratibilidade. De acordo com Shallice (1988) a perseverança comportamental seria decorrência da predominância da atividade em um esquema ativado, o qual inibiria a atividade dos demais esquemas; fato este que acarretaria a ação repetitiva correspondente ao esquema ativado. Já a distratibilidade seria decorrente da ativação concomitante de diversos esquemas, sem a preponderância da atividade de um desses esquemas sobre a dos demais. Em ambos os casos temos déficits que acarretam problemas na percepção, causados pela dificuldade no gerenciamento da atividade concomitante de diversos esquemas (HELENE; XAVIER, 2003).

Atualmente sabemos que dois importantes transtornos da infância, o autismo e o transtorno do déficit de atenção e hiperatividade (TDAH),

estão relacionados a fatores neurobiológicos, particularmente alterações dos circuitos pré-frontais acima descritos subjacentes ao SAS e à cognição social. Antes se acreditava que o autismo, caracterizado por significativas dificuldades na interação social e comunicação e interesses restritos apesar de inato seria exacerbado por pais insensíveis, excessivamente intelectuais e meticulosos e principalmente, por uma mãe fria também chamada de “mãe-geladeira” (GAZZANIGA; HEATHERTON, 2005). Entretanto, pesquisas indicam que as crianças autistas apresentam prejuízos no desenvolvimento da teoria da mente, em inferir os sentimentos e atitudes do outro, decorrentes de sua fraca capacidade de imitação associada a uma clara disfunção dos neurônios espelho na área de Broca, e disfunção de outras áreas do córtex pré-frontal envolvidas no processamento das emoções (MUNSON et al., 2008).

Por outro lado, o TDAH é um distúrbio do desenvolvimento que está relacionado ao sistema atencional e às habilidades sociais, cujos principais sintomas podem ser agrupados em três categorias: inatenção, hiperatividade, e impulsividade. Tal transtorno é mais comum na infância e afeta de 3 a 5% de tas crianças, sendo 2 a 3 vezes mais frequente nos meninos. Estudos com modelos animais e pesquisas envolvendo mecanismos de ação dos fármacos sugerem que mecanismos dopaminérgicos no córtex pré-frontal e nos gânglios da base estão causalmente ligados ao TDAH (GAZZANIGA; HEATHERTON, 2005; MUNSON et al., 2008). De um modo geral, a natureza genética destes distúrbios, como a dislexia e o TDAH, é sustentada por estudos de agregação familiar. Por exemplo, a incidência do TDAH aumenta muito em familiares de primeiro grau daqueles que apresentam o distúrbio, quando comparada à população geral que é de no máximo 6%. A incidência é em torno de 32% para irmãos e gêmeos diferentes (dizigóticos ou perivitelínicos) e de 55% em gêmeos monozigóticos (univitelínicos) (GAZZANIGA; HEATHERTON, 2005).

Conhecer os aspectos sensório-perceptivos, e os mecanismos básicos de representação e memória subjacentes ao desenvolvimento cognitivo, às aquisições acadêmicas e aos respectivos transtornos de aprendizagem (como TDAH e Dislexia) é de suma importância para os pais e, principalmente, os profissionais envolvidos na educação. O conhecimento destes processos permite o desenvolvimento de estratégias

pedagógicas que envolvam, de fato, os mecanismos cognitivos principais subjacentes a determinados domínios acadêmicos e, conseqüentemente, como estratégias mais efetivas de aprendizado e de intervenção em casos de dificuldades e transtornos de aprendizagem (ANDRADE; PRADO, 2003). Neste aspecto entra em jogo a plasticidade cerebral que permite a alteração positiva dos circuitos neurais crucialmente envolvidos nestes domínios acadêmicos desde que correta e suficientemente estimulados (TALLAL; GAAB, 2006).

Em termos de aprendizagem, a memória operacional ou de procedimento, bem como o treinamento repetitivo, são processos essenciais de alguns aspectos do aprendizado, não só de domínios acadêmicos tradicionais como leitura e escrita e operações aritméticas básicas, mas também da arte como, por exemplo, da música. Deficiências no processamento de seqüências ordenadas, mais comumente referido como processamento seqüencial, podem estar relacionadas a um prejuízo no sistema de memória operacional em crianças com transtornos de linguagem oral e de aquisição da leitura e escrita, como a dislexia (ULLMAN; PIERPONT, 2005). A memória de procedimento, a qual envolve principalmente o córtex pré-frontal e os gânglios da base é muito importante, como não poderia ser diferente, na aquisição e desenvolvimento da automatização dos processos fonoarticulatórios seqüenciais tanto perceptivos quanto expressivos da linguagem, tais como a formação de palavras a partir da sequenciação de unidades fonoarticulatórias menores e de frases a partir da sequenciação das palavras na sintaxe lingüística (OSTERHOUT; KIM; KUPERBERG, 2009; ULLMAN; PIERPONT, 2005).

Agora, tão importantes quanto as memórias declarativas (de longa ou de curta duração), como as memórias de procedimento, é a chamada memória operacional ou memória de trabalho, a qual não pode ser confundida com memória de curta duração ou com a memória de procedimento. Tal confusão, que ainda é reforçada por muitos pesquisadores, pode ter tido sua origem em Atkinson e Shiffrin (1971), os quais não valorizaram o conceito de memória operacional no modelo de que propunha três sistemas de memória distintos: sensorial, memória de curto prazo e memória de longo prazo e, hipotetizaram, equivocadamente, que a memória operacional pode ser uma memória de curto prazo, conceito

este extremamente limitado para explicar a complexidade das operações atribuídas à memória operacional. Assim, considerando a especificidade das operações, desenvolveu-se o conceito de memória operacional como um sistema de capacidade limitada e com múltiplos componentes (BADDELEY, 1992).

Segundo Richardson (1996), Miller, Galanter e Pribam foram os primeiros a utilizar, em 1960, o termo “memória operacional” (*working memory*). Esses autores consideravam o lobo frontal como responsável por esse tipo de memória. Baddeley e Hitch (1974) realizaram uma série de pesquisas que levaram à conclusão de que a principal função da memória operacional é a de manter ativas diferentes informações pelo tempo necessário para a execução de uma tarefa complexa. Nela os planos podem ser retidos temporariamente quando estão sendo formados, transformados ou executados. Em síntese, ela está relacionada ao arquivamento temporário da informação para o desempenho de uma diversidade de tarefas cognitivas. É em função disso que muitos neurocientistas reconhecem a memória de trabalho como ‘grande sistema gerenciador’ de informações do cérebro, já que ela literalmente decide que memórias vamos formar ou evocar (IZQUIERDO, 2002).

Um dos principais componentes desse tipo de memória, segundo o modelo inicial de Baddeley e Hitch (1974) é a chamada “central executiva”. Essa central executiva, que tudo indica ser fracionada em processos executivos distintos, possibilita, por exemplo, a execução de tarefas concomitantes, necessárias em diferentes situações-problema, como resolução de problemas matemáticos, compreensão de leitura textual, etc. (SHALLICE; BURGESS, 1996). Essa central executiva seria, segundo o modelo de Baddeley e Hitch, auxiliada por dois sistemas de suporte responsáveis pelo arquivamento temporário e manipulação de informações, um de natureza visuo-espacial e outro de natureza fonológica. A associação entre as informações mantidas nos sistemas de suporte e a integração destas com a memória de longa duração foi denominado por Baddeley (2000) de ‘retentor episódico’, o qual corresponderia a um sistema de capacidade limitada e onde a informação evocada da memória de longa duração tornar-se-ia consciente (BADDELEY, 1992; HELENE; XAVIER, 2003).

Assim, central executiva com seus sistemas de suporte mantém contato com as memórias de longo prazo e coordena, entre outros o trabalho de processos fonológicos e/ou visuo-espaciais (PARENTE; SPARTA; PALMINI, 2001). Neste sentido se pode afirmar que memória operacional seria um sistema de processamento da informação que atua no controle executivo da cognição e do comportamento. Ou seja, memória operacional é o tipo de memória utilizada para processar a realidade que nos rodeia, ou seja, os estímulos do ambiente e poder, assim, efetivamente formar ou evocar outras formas de memória; é a interface entre a percepção da realidade pelos sentidos e a formação ou evocação de memórias (IZQUIERDO, 2002, 2005).

Portanto, a memória operacional estaria intimamente relacionada à atenção, aqui entendida como um conjunto de processos que leva à seleção ou priorização no processamento de certas categorias de informação (HELENE; XAVIER, 2003).

Segundo Helene e Xavier (2003), diferentes tipos de tarefas vêm sendo empregadas para investigar as características da central executiva. Citam, por exemplo, na tarefa de geração aleatória de letras, na qual o sujeito deve gerar seqüências de letras em ordem tão aleatória quanto possível. Os resultados indicam que quanto mais rápida é a tarefa, menos aleatória é a seqüência de letras gerada e quanto maior a quantidade de itens envolvidos na escolha, mais lenta é a geração aleatória (BADDELEY, 1996). Isso sugere, conforme Helene e Xavier (2003) que essa atividade depende de um sistema de capacidade limitada. Se tal tarefa for relacionada à outra tarefa, como por exemplo, a de classificação de cartões, que requer memória operacional, a seqüência produzida será menos aleatória (BADDELEY, 1996). Norman e Shallice (1980) analisam tais resultados a partir do modelo por eles apresentado, que concebe a existência de duas instâncias de controle da ação: os esquemas estabelecidos mediante treino e o Sistema Atencional Supervisor (SAS), conforme vimos acima. Conforme este modelo, os esquemas consolidados mediante treino atuam juntamente com o SAS, caracterizado como um modulador atencional que, por exemplo, inibe padrões de respostas habituais, ou seja, produtos de treino, quando há demanda de outro comportamento. Assim, a simples geração aleatória de letras seria controlada por esquemas consolidados mediante

treino. Entretanto, a participação do SAS seria fundamental para inibir a geração de seqüência alfabética produzida pelo esquema previamente treinado. A participação do SAS também seria requerida no caso de tarefas concomitantes, como por exemplo, no caso em que a geração aleatória de letras estaria associada à tarefa de classificação de cartões em categorias. Nesse caso, o SAS atuaria de forma menos efetiva sobre o esquema previamente treinado de geração de letras, o que explicaria um pior desempenho na geração de seqüências aleatórias. Ou seja, as seqüências geradas se mostram menos aleatórias e mais estereotipadas (BADDELEY, 1986, 1992). Esses dados indicam, como vimos, que os recursos de processamento do SAS apresentam capacidade limitada. Outro exemplo de tal limitação pode ser o chamado “efeito Stroop”, no qual se observa que a velocidade de nomeação da cor de letras impressas se torna mais lenta quando tais letras apresentam o nome de uma cor diferente daquela usada na impressão das letras. Por exemplo, apresenta-se a palavra “amarelo” impressa em vermelho (STROOP, 1935). Acredita-se que deva haver uma inibição da leitura, que é automatizada em pessoas alfabetizadas, para o direcionamento da atenção para a cor das letras impressas (Mac LEAD, 1991). Tal inibição seria realizada pelo SAS. Outras pesquisas indicam também que há uma lentificação da resposta quando outros estímulos secundários estão presentes; principalmente quando esses estímulos secundários pertencem à mesma categoria do estímulo principal, ao qual se deve direcionar a atenção e reagir (ALPORT; STYLES; HSIEH, 1994). Por exemplo, em uma sala de aula, o professor verbalizando uma definição em filosofia e, o colega ao lado cantarolando, mesmo que em voz baixa, um belo ‘funk’. Isso ocorre porque, segundo Baddeley (1996), quanto mais próximas às características dos estímulos secundários, maior será a demanda de processamento, antes desses estímulos irrelevantes serem descartados. Em outras palavras, o esforço para o redirecionamento do foco atencional é bem maior. Tal capacidade de redirecionar a atenção pode estar relacionada ao funcionamento da central executiva (BADDELEY, 1996; BADDELEY et al., 1998; POSNER; PETERSON, 1990). É importante salientar que o déficit de desempenho, quando estímulos concorrentes são apresentados, tende a aumentar com a idade (HASHER; ZACKS, 1988).

Neurobiologicamente, o processamento da memória operacional se dá, por exemplo, da seguinte maneira: um indivíduo, em uma sala de aula começa a receber uma série de estímulos do ambiente. A fala do professor, o barulho do ventilador desregulado, a conversa paralela dos colegas entre outros. Nessa situação, os neurônios do córtex pré-frontal e dos núcleos da amígdala, no lobo temporal, desse indivíduo reconhecem o início e o fim de cada estímulo proporcionado pelo ambiente, por meio de circuitos que ligam essas estruturas entre si e com o córtex temporal inferior e o hipocampo. Tal reconhecimento acontece rapidamente, em segundos ou poucos minutos, em função da rapidez de processamento desses circuitos. Nesse contexto o cérebro do indivíduo, em sala de aula, reconhece se a informação que está sendo processada é nova ou não, se é importante, ou seja, se faz sentido para o organismo, e se requer uma resposta imediata ou não. Por exemplo, caso esteja prestando atenção, o sistema operacional reconhece, no contexto da fala do professor, cada uma das palavras proferidas, verifica se são novas, busca nas memórias semânticas o significado de cada uma delas e, inserindo-as e analisando-as no contexto da fala do professor, constrói ou reconstrói o significado. Entretanto, se perguntarmos ao aluno, imediatamente após a exposição do professor, qual foi à penúltima palavra dita, provavelmente ele não se lembrará. Essa penúltima palavra, agora esquecida, é um bom exemplo de memória operacional. Isso acontece simplesmente porque, ao contrário dos demais tipos de memória, que deixam traços de curta duração (horas) ou de longa duração (dias, décadas), a memória operacional não deixa traços bioquímicos, ou seja, não promove mudanças neurofuncionais¹ e, portanto não forma ‘arquivos’ duradouros.

É importante salientar que, o organismo não reage de forma mecânica aos estímulos do ambiente. Não são as propriedades físicas ou químicas de um estímulo, tomadas isoladamente, que determinam a intensidade de uma resposta. Na verdade, é o organismo quem dá sentido aos estímulos; assim, a resposta é modulada momento a momento, não só pela realidade ou condição fisiológica do organismo naquele momento, mas também pelo conjunto de suas memórias, o qual, apesar na não se reduzir a esta, inclui uma história de reforçamento (GOLDSTEIN, 1995;

¹ A memória de trabalho depende da transmissão glutamatérgica no córtex pré-frontal e colinérgica na amígdala (IZQUIERDO et al., 2003).

MERLEAU-PONTY, 1990; SOARES, 2003). A história de reforçamento pressupõe não só modificações ou adaptações comportamentais, isto é, plasticidade comportamental, mas também, plasticidade neural. Em função disso podemos afirmar categoricamente que não há alteração comportamental sem modificação estrutural. Em outras palavras, modificações funcionais pressupõe modificações estruturais e vice-versa. Este fato nos autoriza a dizer que o processo ensino-aprendizagem não acontece impunemente, nem em termos ideológicos e nem em termos fisiológicos.

Naturalmente também, a compreensão tanto da linguagem falada quanto da escrita depende do processamento sintático o que requer uma adequada capacidade de memória de trabalho fonológica, como por exemplo, para extrairmos o significado de uma seqüência de palavras dentro de uma frase temos de manter “em linha” as palavras imediatamente anteriores e relacioná-las às posteriores. Estudos recentes, tanto comportamentais quanto de neuroimagem, têm mostrado que os mecanismos de processamento seqüencial e de memória de trabalho são de natureza supramodal e também estão subjacentes à percepção musical, envolvendo as mesmas áreas fronto-temporo-parietais em volta da fissura de Sylvius (ANDRADE et al., 2010; KOELSCH; SCHROGER; GUNTER, 2002). Por exemplo, Tallal e Gaab (2006) hipotetizaram que o treinamento musical poderia ser benéfico para o processamento auditivo subjacente à linguagem e, de fato, descobriram que os músicos tiveram desempenhos significativamente melhores do que os não-músicos e apresentaram ativações cerebrais superiores em áreas lingüísticas, particularmente a área de Broca no giro frontal inferior esquerdo (TALLAL; GAAB, 2006). Andrade e colaboradores da Universidade de Harvard demonstraram que a aquisição da leitura e escrita em crianças brasileiras de 7 anos de idade está intimamente relacionada às habilidades de processamento e memória de trabalho fonológica, mecanismos cognitivos estes que também são altamente correlacionados com o processamento de seqüências musicais (ANDRADE et al., 2010). Em suma, de um modo geral, as tarefas que requerem a análise seqüencial dos padrões musicais (tanto melodia quanto ritmo) envolvem áreas do hemisfério esquerdo que antes se acreditava específicas da sintaxe lingüística e da memória de trabalho fonológica. Assim a neurociências fornecem um lastro científico-empírico sólido de

como as habilidades de memória de procedimento e treinamento repetitivo, bem como o processamento seqüencial, são fundamentais na aquisição de habilidades tão importantes quanto a linguagem oral e escrita, e mostra como a arte e particularmente a música pode ser fundamental na avaliação e estimulação dessas habilidades (ANDRADE; BHATTACHARYA, 2003).

PLASTICIDADE

O repertório comportamental de um organismo resulta da interação entre as contingências filogenéticas e ontogenéticas. As contingências filogenéticas atuaram durante a evolução e selecionaram classes de comportamento favoráveis à sobrevivência da espécie, enquanto as contingências ontogenéticas são decorrentes das interações do organismo com o ambiente. Tal relação é dinâmica, considerando que o organismo deve, desde o início do desenvolvimento, selecionar classes de respostas que respondam às demandas de um ambiente em constante mudança. Neste sentido, podemos afirmar que o comportamento de um indivíduo é resultado de um processo dinâmico que envolve sua história filogenética, ontogenética e cultural, no sentido amplo do termo (BUSSAB, 2000; CATANIA, 1999; SKINNER, 1981). Assim, as interações entre os estímulos ambientais e as respostas de um organismo determinam as propriedades comportamentais que lhe garantem adaptação a diferentes situações e individualidade comportamental. Tal interação também diferencia e molda os circuitos neurais, que caracterizam a plasticidade e a individualidade neural do organismo. Conforme Carlson (2000), as mesmas pressões evolutivas que determinaram as mudanças na topografia e na função das reações do indivíduo ao ambiente também determinaram alterações na forma, no tamanho e nas funções do sistema nervoso.

Em termos neurofisiológicos poderíamos dizer que os estímulos ambientais são captados por receptores sensoriais e convertidos em impulsos elétricos, os quais são analisados pelo sistema nervoso central que, a partir de um repertório comportamental, no sentido amplo da palavra, emite resposta(s), quer seja(m) vegetativa(s), motora(s) e/ou cognitiva(s), adequada(s). Tais respostas, segundo Catania (1999) constituem padrões comportamentais que atuam sobre e modificam esse ambiente. Nesse

processo, da forma que o comportamento altera a probabilidade de outros comportamentos, a atividade neural altera a probabilidade das funções neurais em função do reforçamento das conexões sinápticas; fenômeno estudado por Donald Hebb, em 1949 (HEBB, 1949). Estudos posteriores mostram que, tanto as situações simples como a exposição à estimulação ambiental, como as situações de treinamento sistemático acarretam modificações funcionais (comportamentais) e estruturais (circuitos neurais) (ROSENZWEIG, 1996; ROSENZWEIG et al., 1962). Ou seja, subjacentes aos processos comportamentais de aprendizagem e de memória encontram-se as alterações funcionais e morfológicas que ocorrem no sistema nervoso e que caracterizam a plasticidade neural (CUELLO, 1997; IZQUIERDO; MEDINA, 1997). Tonghui Xu (2009), em colaboração com o grupo de pesquisa de Yi Zuo, demonstrou, em camundongos, que novas conexões e espinhas dendríticas se formavam entre neurônios piramidais (grandes células que interligam as camadas corticais do cérebro) logo após o aprendizado de uma nova tarefa. Os pesquisadores verificaram que as espinhas dendríticas (áreas de contatos sinápticos na dendrite dos neurônios) formavam sinapses com outros neurônios, e que, ao mesmo tempo, ocorria eliminação seletiva de espinhas pré-existentes, não alterando assim a densidade geral das espinhas dendríticas, mas alterando a localização e tipos de sinapses. O estudo do grupo de Yi Zuo demonstra, de forma inequívoca, que o aprendizado de uma nova tarefa pelo animal requer um processo de remodelagem das sinapses, no qual há consolidação de novas sinapses, enquanto outras se perdem. Desse modo, verifica-se que os processos comportamentais e os processos de plasticidade neural possuem relações mais estreitas e complexas do que se supôs durante muito tempo. O processo evolutivo resultou em cérebros com uma abundância de circuitos neurais que podem ser modificados pela experiência. Tais características do sistema nervoso, segundo Kandel e Hawkins (1992), atribuem uma individualidade neural ao indivíduo que se relaciona, conseqüentemente, com a sua individualidade comportamental.

Quando nos referimos à plasticidade diferenciamos plasticidade neural e plasticidade comportamental. Entretanto, tal diferenciação tem finalidade didática e é importante para definição de objeto e problema de pesquisa, considerando que, na verdade, ambas as dimensões (neural e

comportamental) são as faces de uma mesma moeda. Portanto, podemos definir plasticidade como a capacidade cerebral de alterar funcionalmente, bioquimicamente ou morfológicamente estruturas em resposta a experiências, drogas, hormônios e lesões (MAREN; BAUDRY, 1995). As pesquisas acerca da plasticidade neural apresentam uma considerável amplitude em termos de abordagem. Incluem, por exemplo, manipulação ambiental com a finalidade de analisar alterações nas estruturas neurais. Há, por exemplo, pesquisas, clínicas ou com utilização de modelos animais, que tem como foco as alterações comportamentais após ocorrência de lesão no sistema nervoso. Diferentes questões relativas à fisiologia e ao comportamento, como também à morfologia, à bioquímica e à genética, são abordadas (FERRARI et al., 2001).

MEMÓRIA, APRENDIZAGEM E PLASTICIDADE

Durante a embriogênese do ser humano é gerado um número excessivo de neurônios e conexões. Grande parte dessas conexões é eliminada por um processo de morte celular (apoptose) que é regulado geneticamente e que resulta num ajuste fino da população neuronal (OLIVEIRA, 1999). Ocorre assim, uma regulação populacional, resultado de uma coordenação sutil e complexa entre as atividades dos elementos pré e pós sinápticos, que garantem a integridade e a plasticidade do neurônio. Essa regulação da população e da circuitaria neuronal que ocorre após o nascimento é extremamente crítica, pois é quando são definidas tanto a sobrevivência de neurônios que estabeleceram contatos sinápticos eficientes quanto à manutenção dessas sinapses.

Podemos citar duas razões básicas para tal fenômeno: 1) As conexões sinápticas existentes ainda são fracas e, só sobrevivem aquelas que são reforçadas (HEBB, 1949) e 2) Passamos, durante o desenvolvimento normal, mais ou menos, aos 11 ou 12 meses de idade, de quadrúpedes a bípedes, o que conforme Izquierdo (2005), requer um número significativamente menor de neurônios e conexões. Ambos os fenômenos são interessantíssimos, pois remetem invariavelmente à economia e à otimização, em termos de funcionamento, do sistema. Apesar de parecer

simples, o processo de plasticidade requer uma complexa rede de eventos neuroquímicos (LOMBROSO, 2004).

Entretanto, o processo de plasticidade não é restrito ao início do desenvolvimento. É um processo que perdura por toda a vida. Inclusive, contrariamente ao que se pensava até pouco tempo, a plasticidade ocorre também durante a fase do envelhecimento. Funções, tais como memória e aprendizagem, invariavelmente pressupõe plasticidade neural. Em relação à consolidação de uma informação ocorre por meio de modificações permanentes ou, pelo menos, muito duradouras da forma e função das sinapses das redes neurais de cada memória. O interessante é que a evocação de uma determinada memória ocorre mediante a reativação de redes sinápticas para cada uma armazenada. Em relação à aprendizagem não poderia ser diferente, pois aprendizagem supõe necessariamente memória. Por isso, assim como ocorre no processamento de memória, para que ocorra a aprendizagem, uma série de eventos intracelulares é necessária para que ocorram as modificações estruturais das sinapses requeridas para a aquele tipo de aprendizagem em questão (GEAKE; COOPER, 2003; HELD, 1965; ROBERSON et al., 1999). Esses processos são modulados, ou seja, sofrem influencia de mecanismos variados, tais como as emoções, níveis de consciência e o estado de ânimo, os quais inclusive podem inibir os processos de memória e aprendizagem (YANG; HUANG; HSU, 2004).

APRENDIZAGEM E AMBIENTE ENRIQUECIDO

O interesse pelos efeitos da experiência, do treino e do exercício sobre o cérebro não é tão moderno como se pensa. Há relatos de experimentos realizados no século XVIII, como os de Bonnet e Malacarne que indicaram que os cérebros de animais que recebiam treinamento sistemático durante anos tinham um cerebelo mais desenvolvido, com maior número de circunvoluções (FINGER, 1994). Contudo, os conceitos e proposições relacionando plasticidade neural e comportamento, somente foram provados experimentalmente a partir da década de 1960, liderados por Rosenzweig.

O procedimento básico de Rosenzweig e colaboradores consistiu na utilização de gaiolas-viveiro diferentes daquelas usualmente encontradas em biotérios ou laboratórios que utilizam modelos animais. Foram

utilizadas gaiolas-viveiro maiores e, aos animais (ratos) eram apresentados uma grande quantidade e variedade de estímulos, tais como objetos de formas diferentes, espelhos, rodas de atividade, escadas, além de diferentes possibilidades para conseguir alimento. Os animais eram colocados em conjunto ou alojados individualmente. Observou-se, consistentemente, que, em diferentes idades, a interação com esses ambientes ricos em estimulação resultou em alterações específicas da estrutura do cérebro desses animais. Entre essas alterações estavam incluídos o aumento na espessura das camadas do córtex visual, no tamanho de corpos neuronais e de núcleos dos corpos neuronais, no número de sinapses e na área das zonas de contato sináptico, no número de dendritos e de espinhas dendríticas, no volume e no peso cerebral, além de alterações em níveis de neurotransmissores. Em resumo, todas as características morfológicas e funcionais de áreas corticais sofreram alterações importantes em função da mera exposição e da interação com ambientes que fornecem diversidade de estímulos (ROSENZWEIG, 1996).

Procedimento semelhante, porém adotando abordagem experimental foi utilizado por Goulart e colaboradores (2009, 2010). Os resultados demonstraram que ratos submetidos à ambiente enriquecido, durante a fase inicial de sua vida, apresentavam melhor desempenho, na fase adulta, em tarefas que requeriam memória espacial do que ratos não estimulados. E o mais interessante, os efeitos plásticos em termos comportamentais perduraram até a fase adulta, o que aponta para a hipótese de que as alterações estruturais induzidas mediante treino, durante o período do desenvolvimento (infância e adolescência) tendem a facilitar a resolução de tarefas na fase adulta. Em outras palavras, escolas, por exemplo, estruturadas para oferecer um ambiente desafiador, conteúdos trabalhados significativamente e que estimulem a construção de relações entre tais conteúdos, promovem positivamente alterações estruturais e comportamentais que podem perdurar por longo tempo durante a vida dos seus educandos.

RELAÇÃO ENTRE NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO

Desde os anos 60 que se tenta relacionar campos relativos ao estudo do cérebro com a educação. Há mais de 25 anos atrás se pensou na criação de ‘neuroeducadores’. Acreditavam que, mediante o estudo do cérebro, o processo ensino-aprendizagem poderia ser transformado e melhorado (CRUICKSHANK, 1981; WILLINGHAM, 2009). Embora a idéia de que a investigação neurocientífica possa melhorar a teoria e prática educacional já não seja uma novidade, atualmente, com as novas descobertas científicas, a neurociência e a educação voltam a cruzar caminhos (GOSWAMI; SZÚCS, 2007; RATO; CALDAS, 2010). Contudo, ainda não há consenso em relação à possibilidade de interlocução entre os dois campos. Alguns autores acreditam que as neurociências possam colaborar com o aprimoramento do processo ensino-aprendizagem. Há quem defenda que a investigação em contextos educativos irá moldar as grandes descobertas no âmbito da biologia básica e processos cognitivos na aprendizagem e no desenvolvimento. Outros, porém, colocam em dúvida a durabilidade e o real benefício desta possível união, considerando inclusive o fato de que as neurociências ainda não deram respostas definitivas acerca do funcionamento da mente e do cérebro (FISCHER et al., 2007).

Atualmente nos deparamos com um grande número de publicações procurando não só relacionar achados das neurociências com a educação, como também no sentido de promover a discussão em torno de tal relação. Contudo, são muitas as barreiras que continuam a adiar o sucesso desta parceria. Uma delas é a falta de uma clara delimitação das reais contribuições de cada campo científico. Outra barreira é, segundo Rato e Caldas (2010), a rápida propagação de mitos que obscurecem os progressos realizados pelas neurociências cognitivas em várias áreas relevantes para a educação. Nesse sentido, podemos encontrar publicações pseudocientíficas que, funcionando muito mais como manuais de auto-ajuda, contribuem para obscurecer tal relação.

Será possível tal colaboração? Se considerarmos que tal colaboração só será possível quando as neurociências tiverem respostas definitivas acerca da relação mente e cérebro, achamos difícil, pois, não existem respostas definitivas no âmbito de ciência alguma, inclusive nas neurociências. Também acreditamos que tal relação será extremamente complicada se,

alguns cientistas da educação, não abandonarem certos pressupostos ideológicos e continuarem a pensar e divulgar, equivocadamente, que as neurociências se caracterizam pelo reducionismo, pelo mecanicismo e pelo dualismo. Também será extremamente tensa a relação se, os cientistas da educação não assumirem uma postura crítica frente suas linhas teóricas. Por outro lado, tal relação será complicada se, os neurocientistas não encararem os problemas educacionais como verdadeiros problemas de pesquisa e desenvolverem métodos que melhor se adéquem à realidade macro da educação.

Além disso, devem os neurocientistas precisam aprimorar as bases conceituais das neurociências. Precisam refletir epistemologicamente acerca da construção do conhecimento em neurociências, seus métodos e fundamentações teóricas e, assim, até quem sabe, construir uma filosofia das neurociências. Nesse sentido, Pereira Junior (2011) observa que, apesar da pesquisa empírica ter gerado um grande número de resultados experimentais, tal conhecimento ainda não foi integrado em um quadro teórico convincente de como os processos cognitivos são realizados pelo cérebro. Entretanto, tais dificuldades apontadas não constituem barreiras práticas ou teóricas para a integração entre neurociências e educação. Talvez a verdadeira barreira e, a mais difícil de transpor seja a barreira ideológica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na obra Russell *The analysis of mind* (1921) o filósofo Bertrand Russel ressalta a influência generalizada da memória no processo de conhecer o mundo, considerando que praticamente toda forma de conhecimento pressupõe alguma modalidade de memória. Não podemos ignorar que o aprender e o lembrar ocorrem no cérebro. Nesse sentido, conhecer os mecanismos da aprendizagem e da memória e as mudanças estruturais e comportamentais induzidas por tais mecanismos são de fundamental importância para a educação (FISCHER; ROSE, 1998; KOIZUMI, 2004). Conforme salientamos anteriormente, estímulos ambiente fazem com que os neurônios formem novas conexões/sinapses. Nesse processo, quando uma informação é aprendida, ocorre uma ativação dessas conexões/sinapses, tornado-as mais “fortes”. Tais conexões se constituirão em

circuitos de processamento com capacidade molecular de armazenamento de informações (KOIZUMI, 2004; MUSSAK, 1999). Tal processo por si só congrega as Neurociências e a Educação (LIVINGSTON, 1973; SAAVEDRA, 2002). Essa relação próxima não significa de forma alguma que possamos reduzir todo o processo de aprendizagem aos processos neurofisiológicos básicos. Muito pelo contrário, as Neurociências apontam para a necessidade de se compreender o ser humano em todas as suas dimensões e relações. Nesse sentido, cabe ressaltar que as Neurociências não têm por finalidade propor novas metodologias educacionais. Entretanto, pela sua aproximação com a Educação pode contribuir para o melhor entendimento dos processos de aprendizagem e, assim, servir como subsídio para a elaboração de estratégias educativas mais eficientes (REYNOLDS, 2000; SMILKSTEIN, 2003).

REFERÊNCIAS

- ADES, C. Múltiplas memórias. *Psicologia USP*, São Paulo, n. 4, p. 9-24, 1993.
- AKSHOOMOFF, N. A. et al. Contribution of the cerebellum to neuropsychological functioning: evidence from a case of cerebellar degenerative disorder. *Neuropsychologia*, Oxford, n. 30, p. 315-328, 1992.
- ALLPORT, A. Attention and control: have we been asking the wrong questions? A critical review of twenty-five years. In: MEYER, P.; KORNBLUM, M. (Ed.). *Attention and performance*. New Jersey: Erlbaum, 1993. v. 14, p. 182-218.
- ALLPORT, D. A.; STYLES, E. A.; HSIEH, S. Shifting intentional set: exploring the dynamic control of tasks. In: UMLTA, C.; MOSCOVITCH, M. (Ed.). *Attention and performance*. Cambridge: MIT Press, 1994. v. 15, p. 421-452.
- ANDRADE, P. E.; BHATTACHARYA, J. Brain tuned to music. *Journal of the Royal Society of Medicine*, London, n. 96, p. 284-287, 2003.
- ANDRADE, P. E.; PRADO, P. S. T. Psicologia e neurociência cognitivas: alguns avanços recentes e implicações para a educação. *Interação em Psicologia*, Curitiba, v. 2, n. 7, p. 73-80, 2003.
- ANDRADE, P. E. et al. Investigando a relação entre percepção musical e habilidades cognitivo-linguísticas em leitores iniciantes da língua portuguesa. In: CONGRESSO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEUROCIÊNCIAS E COMPORTAMENTO, 34., 2010, Caxambu, MG. *Anais...* São Paulo: SBNeC, 2010. p. F105.
- ATKINSON, R. C.; SHIFFRIN, R. M. The control of short-term memory. *Scientific American*, New York, n. 225, p. 82-90, 1971.
- ATKINSON, R. L. et al. *Introdução à psicologia*. 13. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

- BADDELEY, A. The trouble with levels: a reexamination of Craik and Lockhart's framework for memory research. *Psychological Review*, Washington, n. 85, p. 139-152, 1978.
- BADDELEY, A. *Working memory*. Oxford: Clarendon Press, 1986.
- BADDELEY, A. Working memory. *Science*, Washington, n. 255, p. 556-559, 1992.
- BADDELEY, A. Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, London, v. 49A, n. 1, p. 5-28, 1996.
- BADDELEY, A. The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, v. 4, n. 11, p. 417-423, 2000.
- BADDELEY, A.; HITCH, G. J. Working memory. In: BOWER, G. (Ed.). *The psychology of learning and motivation*. New York: Academic Press, 1974. p. 47-90.
- BADDELEY, A. et al. Random generation and the executive control of working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, London, v. 51, n. 4, p. 819-852, 1998.
- BARROS, C. E. et al. O organismo como referência fundamental para a compreensão do desenvolvimento cognitivo. *Revista Neurociências*, São Paulo, v. 12, n. 4, p. 212-216, 2004.
- BAUDRY, M. Synaptic plasticity and learning and memory: 15 years of progress. *Neurobiology and Learning and Memory*, Orlando, v. 70, n. 2, p. 113-118, 1998.
- BRANDIMONTE, M.; EINSTEIN, G. O.; MCDANIEL, M. A. *Prospective memory: theory and applications*. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 1996.
- BURGESS, P. W.; SHALLICE, T. The relationship between prospective and retrospective memory: neuropsychological evidence. In: CONWAY, M. A. (Org.). *Cognitive models of memory*. Cambridge: Massachusetts, 1997. p. 247-273.
- BUSSAB, V. S. R. Fatores hereditários e ambientais no desenvolvimento: a adoção de uma perspectiva interacionista. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, Porto Alegre, n. 13, p. 233-243, 2000.
- BUTTERS, N.; HEINDEL, W. C.; SALMON, D. P. Dissociation of implicit memory in dementia: neurological implications. *Bulletin of Psychonomic Society*, Austin, n. 28, p. 359-366, 1990.
- CAMPOS, A. de; SANTOS, A. M. G.; XAVIER, G. A consciência como fruto da evolução e do funcionamento do sistema nervoso. *Psicologia USP*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 181-226, 1997.
- CATANIA, A. C. *Aprendizagem: comportamento, linguagem e cognição*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1999.
- COHEN, G. *Memory in the real world*. 3. ed. Hove: Laurence Erlbaum, 1991.
- COHEN, N. S. Preserved learning capacity in amnesia: evidcncc for multiple memory systems. In: SQUIRE, L. R.; BUTTERS, N. (Ed.). *Neuropsychology of memory*. New York: Guilford, 1984. p. 83-103.
- CRUICKSHANK, W. M. A new perspective in teacher education: the neuroeducator. *Journal of Learning Disabilities*, Austin, n. 24, p. 337-341, 1981.

- CUELLO, A. C. Experimental neurotrophic factor therapy leads to cortical synaptic remodeling and compensation for behavioral deficits. *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, Ottawa, n. 22, p. 46-55, 1997.
- DALLA BARBA, G. Prospective memory: a 'new' memory system? In.: BOLLER, F.; GRAFMAN, J. (Org.). *Handbook of neuropsychology*. New York: Elsevier Science, 1993. v. 8.
- DAMÁSIO, A. *O erro de Descartes: emoção, razão e cérebro*. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.
- DAMÁSIO, A. *O mistério da consciência*. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.
- DAVIS, M. The role of the amygdala in conditioned fear. In: AGGLETON, J. P. (Ed.). *The amygdala: neurobiological aspects of emotion, memory and mental dysfunction*. New York: John Wiley, 1992. p. 255-306.
- DUNCAN, J. Consistent and varied training in the theory of automatic and controlled information processing. *Cognition*, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 279-284, 1986.
- EINSTEIN, G. O.; DANIEL, M. A. Normal aging and prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, Arlington, v. 16, p. 717-726, 1990.
- ELLIS, J. A. Prospective memory and the realisation of delayed intentions: a conceptual framework for research. In: BRANDIMONTE, M. A.; EINSTEIN, G. O.; MCDANIEL, M. A. (Org.). *Prospective memory: theory and applications*. Mahwah: Laurence Erlbaum, 1996. p. 92-104.
- FERRARI, E. A. de M. et al. Plasticidade neural: relações com o comportamento e abordagens experimentais. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, Brasília, DF, v. 17, n. 2, p. 187-194, 2001.
- FINGER, S. *Origins of neuroscience: a history of explorations into brain function*. New York: Oxford University Press, 1994.
- FISCHER, K. W. Mind, brain, and education: building a scientific groundwork for learning and teaching. *Mind, Brain and Education*, v. 3, n. 1, p. 3-16, 2009.
- FISCHER, K. W.; ROSE, S. P. Growth cycles of the brain and mind. *Educational Leadership*, Washington, v. 56, n. 3, p. 56-60, 1998.
- FISCHER, K. W. et al. Why mind, brain, and education? Why now? *Mind, Brain and Education*, v. 1, p. 1-2, 2007.
- FUSTER, J. M. Synopsis of function and dysfunction of the frontal lobe. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, Copenhagen, n. 99, p. 51-57, 1999.
- GAZZANIGA, M. S.; HEATHERTON, T. F. *Ciência psicológica: mente, cérebro e comportamento*. Porto Alegre: Artmed, 2005.
- GEAGY, D. C. Principles of evolutionary educational psychology. *Learning and Individual Differences*, New Haven, n. 12, p. 317-345, 2002.
- GEAKE, J.; COOPER, P. Cognitive neuroscience: implications for education? *Westminster Studies in Education*, Oxfordshire, n. 26, p. 7-20, 2003.

- GOLDSTEIN, K. *The organism: a holistic approach to biology derived from pathological data in man*. New York: Zone Books, 1995.
- GONÇALVES, V. M. G. *Neurodesenvolvimento e indicadores de risco: do neonato ao escolar*. 2003. Tese (Livre-Docência) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- GOSCHKE, T.; KUHL, J. Remembering what to do: explicit and implicit memory for intentions. In: BRANDIMONTE, M. A.; EINSTEIN, G. O.; MCDANIEL, M. A. (Org.). *Prospective memory: theory and applications*. Mahwah: Laurence Erlbaum, 1996. p. 53-91.
- GOSWAMI, U. Neuroscience, education and special education. *British Journal of Special Education*, London, v. 31, n. 4, p. 175-183, 2004.
- GOSWAMI, U.; SZŰCS, D. Educational neuroscience: defining a new discipline for the study of mental representations. *Mind, Brain, and Education*, v. 1, n. 3, p. 114-127, 2007.
- GOULART, F. C. et al. Ambiente enriquecido: efeitos imediatos e a longo prazo sobre a memória espacial. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PSICOLOGIA, 39., 2009, Goiânia. *Resumos...* Ribeirão Preto: SBP, 2009. p. 35.
- GOULART, F. C. et al. Respostas a curto e a longo prazo sobre a memória espacial de ratos submetidos ao ambiente enriquecido. In: CONGRESSO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEUROCIÊNCIAS E COMPORTAMENTO, 34., 2010, Caxambu, MG. *Anais...* São Paulo: SBNeC, 2010. p. A63.
- GREENLEAF, R. K. It's never too late! What neuroscience has to offer high schools? *NASSP Bulletin*, Reston, v. 83, n. 608, p. 81-89, 1999.
- HASHER, J.; ZACKS, P. W. Working memory, comprehension and aging: a review and a new view. In: BOWER, G. H. (Ed.). *The psychology of learning and motivation*. New York: Academic Press, 1988. v. 22, p. 193-225.
- HEBB, D. O. *The organization of behavior*. New York: Willey, 1949.
- HEINDEL, W. C. et al. Neuropsychological evidence for multiple implicit memory systems: a comparison of Alzheimer's, Huntington's, and Parkinson's disease patients. *Journal of Neuroscience*, Baltimore, n. 9, p. 582-587, 1989.
- HELD, R. Plasticity in sensory-motor system. *Scientific American*, New York, n. 213, p. 84-94, 1965.
- HELENE, A. F.; XAVIER, G. F. A construção da atenção a partir da memória. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, São Paulo, n. 25, supl. 2, p. 12-20, 2003.
- IZQUIERDO, I. *Memória*. Porto Alegre: Artes Médicas, 2002.
- IZQUIERDO, I. *A arte de esquecer: cérebro, memória e esquecimento*. 2. ed. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2005.
- IZQUIERDO, I.; McGAUGH, J. L. Behavioural pharmacology and its contribution to the molecular basis of memory consolidation. *Behavioural Pharmacology*, Hagerstown, n. 11, p. 517-534, 2000.

- IZQUIERDO, I.; MEDINA, J. H. The biochemistry of memory formation and its regulation by hormones and neuromodulators. *Psychobiology*, Austin, v. 25, n. 1, p. 1-9, 1997.
- IZQUIERDO, I. et al. Mecanismos da memória. *Scientific American Brasil*, São Paulo, n. 17, p. 99-104, 2003.
- JENSEN, E. *Brain-based learning: the new science of teaching & training*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press, 2000.
- JOLLES, J. et al. *Brain lessons*. Maastricht: Neuropsych Publishers, 2006.
- KANDEL, E. R.; HAWKINS, R. D. The biological basis of learning and individuality. *Scientific American*, New York, v. 267, p. 78-87, 1992.
- KNOPMAN, D. S.; NISSEN, M. J. Procedural learning is impaired in Huntington's disease: from the serial reaction task. *Neuropsychologia*, Oxford, v. 29, n. 3, p. 245-254, 1991.
- KOELSCH, S.; SCHROGER, E.; GUNTER, T. Music matters: preattentive musicality of the human brain. *Psychophysiology*, Champaign, n. 39, p. 1-11, 2002.
- KOIZUMI, H. The concept of developing the brain: a new science of learning and education. *Brain & Development*, Tokyo, n. 26, p. 433- 441, 2004.
- KVAVILASHVILI, L. Remembering intention as a distinct form of memory. *British Journal of Psychology*, London, n. 78, p. 507-518, 1987.
- LEDOUX, J. E. Emotion. In: BROOKHART, J. M.; MOUNTCASTLE, V. B. (Ed.). *Handbook of physiology: the nervous system*. Bethesda: Am Physiol Society, 1987. v. 5, p. 419-460.
- LIVINGSTON, R. B. Neuroscience and education. *Prospects*, Paris, v. 3, n. 4, p. 415-437, 1973.
- LOMBROSO, P. Aprendizado e memória. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 207-210, 2004.
- LURIA, A. R. *Higher cortical functions in man*. New York: Basic Books, 1966.
- MacLEOD, C. M. Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin*, Washington, v. 109, n. 2, p. 163-203, 1991.
- MANTOVANI, O. Z. M. de A. *A solicitação do meio e a construção das estruturas lógicas elementares na criança*. 1976. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1976.
- MARCUS, E. R. Functional brain imaging and human brain function. *Journal of Neuroscience*, Baltimore, n. 23, p. 3959-3962, 2003.
- MAREN, S.; BAUDRY, M. Properties and mechanisms of long-term synaptic plasticity in the mammalian. *Neurobiology of Learning and Memory*, Orlando, v. 63, n. 1, p. 1-18, 1995.
- MAYES, A. R.; DAUM, I. How specific are the memory and other cognitive deficits caused by frontal lobe lesions? In: RABBIT, P. (Org.). *Methodology of frontal and executive function*. Hove: Psychological Press, 1997. p. 471-487.
- MERLEAU-PONTY, M. *La structure du comportement*. Paris: Quadrige: PUF, 1990.

- MESULAM, M. M. From sensation to cognition. *Brain*, Oxford, n. 121, p. 1013-1052, 1998.
- MILNER, B.; CORST, F.; LEONARD, G. Frontal-lobe contribution to recency judgements. *Neuropsychologia*, Oxford, n. 29, p. 601-618, 1991.
- MISHKIN, M.; APPENZELLER, T. The anatomy of memory. *Scientific American*, New York, v. 256, n. 6, p. 80-89, 1987.
- MISHKIN, M.; MALAMUT, B.; BACHEVALIER, J. Memories and habits: two neural systems. In: LUNCH, G.; MCGAUGH, J. L.; WEINGARTEN, N. M. (Ed.). *Neurobiology of learning and memory*. New York: Guilford Press, 1984. p. 65-77.
- MUNSON, J. et al. Neurocognitive predictors of social and communicative developmental trajectories in preschoolers with autism spectrum disorders. *Journal of International Neuropsychological Society*, Cambridge, v. 14, n. 6, p. 956-966, 2008.
- MUSSAK, E. *Cérebro de estudante: e você sempre será um*. Campinas: Gráfica e Editora Paes, 1999.
- NICHOLS, M. J.; NEWSOME, W. T. The neurobiology of cognition. *Nature*, London, n. 402, p. C35-C38, 1999.
- NORMAN, D. A.; SHALLICE, T. *Attention to action: willed and automatic control of behavior*. San Diego: University of California; 1980.
- OLIVEIRA, A. L. R. *Apoptose de neurônios motores, interneurônios e neurônios sensitivos induzida pela transecção do nervo ciático em ratos recém-nascidos: padrão temporal e efeitos do tratamento com fatores neurotróficos (NGF e CNTF)*. 1999. Tese (Doutorado) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). *Understanding the brain: towards a new learning science*. Paris, 2002.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). *Understanding the brain: the birth of a learning science*. Paris, 2007.
- OSTERHOUT, L.; KIM, A.; KUPERBERG, G. The neurobiology of sentence comprehension. In: SPIVEY, M.; JOANAISSÉ, M.; McRAE, K. (Ed.). *The Cambridge handbook of psycholinguistics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. p. 1-23.
- PARENTE, M. A. M. P.; SPARTA, M.; PALMINI, A. L. Distúrbio de percepção temporal e sua Influência na memória: estudo de caso de paciente com lesão frontal. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, Porto Alegre, v. 14, n.2, p. 343-352, 2001.
- PEREIRA JÚNIOR, A. Questões epistemológicas das neurociências cognitivas. *Trabalho, Educação e Saúde*, Rio de Janeiro, v. 8 n. 3, p. 509-520, 2011.
- POSNER, M. I.; PETERSON, S. E. The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, Palo Alto, n. 3, p. 25-42, 1990.
- POSNER, M. I.; ROTHBART, M. K. Influencing brain networks: implications for education. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 9, n. 3, p. 99-103, 2005.
- RATO, J. R.; CALDAS, A. C. Neurociências e educação: realidade ou ficção?. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INVESTIGAÇÃO EM PSICOLOGIA, 7., 2010, Braga, Portugal. *Actas...* Braga: Universidade do Minho, 2010. p. 626-644.

- REYNOLDS, S. *Learning is a verb: the psychology of teaching and learning*. Scottsdale, AZ: Holcomb Hathaway Publishers, 2000.
- RICHARDSON, J. T. Envolving concepts of working memory. In: RICHARDSON, J. T. et al. (Org.). *Working memory and human cognition*. New York: Oxford Press, 1996. p. 2-30.
- ROBERSON, E. D. et al. The mitogen-activated protein kinase cascade couples PKA and PKC to CREB phosphorylation in area CA1 of hippocampus. *Journal of Neuroscience*, Baltimore, n. 19, p. 4337-4348, 1999.
- ROSENZWEIG, M. R. Aspects of the search for neural mechanisms of memory. *Annual Review of Psychology*, Palo Alto, v. 47, p. 1-32, 1996.
- ROSENZWEIG, M. R. et al. Effects of environmental complexity and training on brain chemistry and anatomy: A replication and extension. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, Arlington, n. 55, p. 429-437, 1962.
- RUSSELL, B. *The analysis of mind*. New York: Macmillan, 1921.
- SAAVEDRA, M. A. Algunas contribuciones de las neurociencias a la educacion. *Revista Enfoques Educativos*, Santiago, v. 4, n. 1, p. 65-73, 2002.
- SCHACTER, D. L. Implicit memory: history and current status. *Journal of Experimental Psychology Learning Memory and Cognition*, Arlington, v. 13, n. 3, p. 501-508, 1987.
- SHALLICE, T. Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, London, n. B 298, p. 199-209, 1982.
- SHALLICE, T. *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- SHALLICE, T.; BURGESS, P. Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, Oxford, n. 114, p. 727-741, 1991.
- SHALLICE, T.; BURGESS, P. Supervisory control of action and thought selection. In: BADDELEY, D.; WEISKRANTZ, L. (Ed.). *Attention: selection, awareness and control: a tribute to Donald Broadbent*. Oxford: Oxford University Press, 1993. p. 171-187.
- SHALLICE, T.; BURGESS, P. The domain of supervisory processes and temporal organization of behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Series B: Biological Sciences, London, v. 351, n. 1346, p. 1405-1411, 1996.
- SKINNER, B. F. Selection by consequences. *Science*, Washington, n. 213, p. 501- 504, 1981.
- SMILKSTEIN, R. *We're born to learn: using the brain's natural learning process to create today's curriculum*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press, 2003.
- SOARES, E. *Desenvolvimento e dificuldades da concepção localizacionista de funções mentais: uma análise a partir de Merleau-Ponty*. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- SQUIRE, L. R. Declarative and nondeclarative memory: multiple brain systems supporting learning and memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, Cambridge, n. 99, p. 195-231, 1992.

- SQUIRE, L. R.; KNOWLTON, B. J. Memory, hippocampus, and brain systems. In: GAZZANIGA, M. S. (Ed.). *The cognitive neurosciences*. Cambridge: A Bradford Book, 1995. p. 825-837.
- SQUIRE, L. R.; ZOLA-MORGAN, S. The medial temporal lobe memory system. *Science*, Washington, v. 253, n. 5026, p.1380-1386, 1991.
- STROOP, J. R. Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, Washington, n. 18, p. 643-662, 1935.
- STUSS, D. T.; BENSON, D. F. *The frontal lobes*. New York: Raven Press, 1986.
- TALLAL, P.; GAAB, N. Dynamic auditory processing, musical experience and language development. *Trends in Neurosciences*, Amsterdam, v. 29, n. 7, p. 382-370, 2006.
- THOMPSON, R. F. Neural mechanisms of classical conditioning in mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Series B: Biological Sciences, London, v. 329, n. 1253, p. 161-170, 1990.
- ULLMAN, M. T.; PIERPONT, E. I. Specific language impairment is not specific to language: the procedural deficit hypothesis. *Cortex*, Varese, v. 41, n. 3, p. 399-433, 2005.
- Van Der LINDEN, M. Neuropsychologie de la memoire. In: SERON, X.; JEANNEROD, M. (Org.). *Neuropsychologie humaine*. Liège: Mardaga, 1994. p. 282-316.
- WHEELER, M. A.; STUSS, D. T.; TULVING, E. Toward a theory of episodic memory: the frontal lobes and autoegetic consciousness. *Psychological Bulletin*, Washington, n. 121, p. 331-354, 1997.
- WIGGS, C. L.; WEISEBERG, J.; MARTIN, A. Neural correlates of semantic and episodic memory retrieval. *Neuropsychologia*, Oxford, n. 37, p. 103-118, 1999.
- WILKINS, A. J.; BADDELEY, A. D. Remember to recall in everyday life: an approach to absent-mindedness. In: GRUNEBERG, M. M.; MORIS, P. E.; SYKES, R. N. (Org.). *Practical aspects of memory: current research and issues*. London: Academic Press, 1978. p. 29-48.
- WILLINGHAM, D. T. Three problems in the marriage of neuroscience and education. *Cortex*, Varese, v. 45, n. 4, p. 544-545, 2009.
- WILLINGHAM, D. T.; LLOYD, J. W. How educational theories can use neuroscientific data. *Mind, Brain and Education*, v. 1, n. 3, p. 140-149, 2007.
- XAVIER, G. F. A modularidade da memória e o sistema nervoso. *Psicologia USP*, São Paulo, n. 4, p. 61-115, 1993.
- XU, T. et al. Rapid formation and selective stabilization of synapses for enduring motor memories. *Nature*, London, v. 462, n. 7275, p. 915-919, 2009.
- YANG, C. H.; HUANG, C. C.; HSU, K. S. Behavioral stress modifies hippocampal synaptic plasticity through corticosterone-induced sustained extracellular signal-regulated kinase/mitogen: activated protein kinase activation. *Journal of Neuroscience*, Baltimore, v. 24, n. 49, p. 11029-11034, 2004.