
Revisão

Um panorama sobre o desenvolvimento da memória de trabalho e seus prejuízos no aprendizado escolar

An overview on the development of working memory and its losses in school learning

Emmy Uehara^{a,✉} e Jesus Landeira-Fernandez^{a, b}

^aPontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil; ^bUniversidade Estácio de Sá (UNESA), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

Resumo

A memória de trabalho é um sistema de memória responsável pelo armazenamento temporário e processamento simultâneo de informação seja ela do ambiente ou da memória de longo-prazo. Seu funcionamento está intimamente relacionado com atividades cognitivas complexas, incluindo a compreensão da linguagem, o raciocínio e a resolução de problemas. De maneira gradual, cada componente se desenvolve, alcançando a maturidade plena somente no início da vida adulta. A investigação da memória de trabalho pode auxiliar na construção de novos instrumentos, capazes de avaliarem cada componente desta memória. Finalmente, distúrbios no funcionamento da memória de trabalho pode estar associado à problemas específicos na aprendizagem, tais como a dificuldade na leitura, escrita e resolução de problemas matemáticos. Assim, o presente estudo se configura como uma revisão das principais referências encontradas na literatura atual sobre os marcos mais significativos do desenvolvimento da memória de trabalho e seus prejuízos mais relevantes no contexto escolar. © Cien. Cogn. 2010; Vol. 15 (2): 031-041.

Palavras-chave: memória de trabalho; desenvolvimento; aprendizagem; educação.

Abstract

Working memory is a memory system responsible for temporary storage and simultaneous processing of information be it the environment or the long-term memory. Its operation is closely related to complex cognitive tasks, including language comprehension, reasoning and problem solving. Gradually, each component is developed, reaching full maturity only in early adulthood. The investigation of working memory can aid in the construction of new instruments capable of assessing each component of memory. Finally, disturbances in the functioning of working memory may be associated with specific problems in learning, such as difficulty in reading, writing and solving mathematics problems. Thus, the present study was designed as a literature review on the most significant milestones in the development of working memory and its losses in the most relevant school context. © Cien. Cogn. 2010; Vol. 15 (2): 031-041.

✉ - E. Uehara - Endereço para correspondência: Programa de Pós-Graduação em Psicologia Clínica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Rua Marques de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ 22453-900, Brasil. E-mail para correspondência: emmy.uehara@gmail.com. J. Landeira-Fernandez - E-mail para correspondência: landeirafernandez@yahoo.com.br.

Keywords: *working memory; development; learning; education.*

1. Introdução

Em 1974, Baddeley e Hitch propuseram o modelo de memória de trabalho (*working memory*) também chamado de memória operacional. Este sistema múltiplo de memória veio substituir o conceito de memória de curto-prazo, deixando de ser apenas um armazenador temporário para ser um processador ativo capaz de manipular um conjunto limitado de informações por um curto período de tempo. Desde então, uma rica discussão acerca desse modelo de memória de trabalho tem despertado grande interesse na literatura (Daneman e Carpenter, 1980; Engle, 1996; Cowan, 1999). De fato, o modelo de Baddeley e Hitch (1974) continua a ser bastante influente e utilizado, não somente pela psicologia cognitiva como também pela neurociência, neuropsicologia e psicologia do desenvolvimento.

O modelo inicial definiu a memória de trabalho como um sistema composto por três componentes: o executivo central, que atuaria como controlador atencional; e dois subsistemas de apoio especializados no processamento e manipulação de quantidades limitadas de informações específicas, a alça fonológica e o esboço visuo-espacial. Em 2000, Baddeley ampliou o modelo, acrescentando um quarto componente: o retentor episódico, responsável pela integração das informações mantidas temporariamente na memória de trabalho com aquelas provenientes dos sistemas de longo-prazo, em uma representação episódica única. Juntos, esses componentes estariam envolvidos em atividades cognitivas superiores tais como a aprendizagem, compreensão da linguagem, leitura, aritmética, resolução de problemas e na produção da própria consciência (Alloway *et al.*, 2004; Baddeley, 1992).

O conceito de memória de trabalho provou também ser um modelo útil para investigar o desenvolvimento de processos cognitivos (para uma maior revisão ver Gathercole, 1998). Sabe-se hoje que a capacidade da memória de trabalho aumenta com a idade durante a infância (Gathercole, 1999) e diminui durante a terceira idade (Linden *et al.*, 1994). Gathercole e colaboradores (2004) constataram que os elementos básicos da memória de trabalho estariam formados aos 6 anos, ou até mais cedo, na idade pré-escolar. Entretanto, a capacidade de cada um dos componentes da memória de trabalho aumenta constantemente até a adolescência (Isaacs e Vargha-Khadem, 1989).

A memória de trabalho é fundamental na atividade cognitiva do dia-a-dia assim como para o desempenho acadêmico. Deste modo, estudos que avaliem o seu desenvolvimento são extremamente importantes para compreender funções e disfunções relacionadas aos processos de aprendizagem. Assim, o presente estudo tem como objetivo traçar um panorama atual sobre a memória de trabalho e o desenvolvimento de seus componentes. Através de uma seletiva revisão dos artigos mais relevantes, obtidos na base de dados Scielo, ScienceDirect, PubMed e BIREME, pretende-se dar ênfase às mudanças fundamentais na memória de trabalho da pré-escola até a adolescência, bem como os prejuízos mais recorrentes no aprendizado quando a mesma não se encontra em adequado funcionamento.

2. A memória de trabalho

Define-se memória de trabalho como um sistema de capacidade limitada que permite o armazenamento temporário e gerenciamento de informações. Tem como principal função manter informações que estão sendo processadas por um curto período de tempo. Como bem apontam Helene e Xavier (2007), a memória de trabalho se diferencia da memória de curto-

prazo por privilegiar a utilização da informação, e não apenas o simples decorrer do tempo, como fator determinante na manutenção ou descarte das informações.

Ao longo de 35 anos, o modelo sofreu alterações em sua estrutura (Baddeley e Hitch, 1974; Baddeley, 1986; 1992; 2000). Atualmente, considera-se que a memória de trabalho é composta por quatro componentes. De acordo com Baddeley (2000), o primeiro deles é o executivo central, que desempenha determinadas funções: a) atenção seletiva - habilidade de focar a atenção em uma informação relevante enquanto inibe outras informações distratoras; b) flexibilidade mental - capacidade de coordenar múltiplas atividades cognitivas simultaneamente; c) selecionar e executar planos e estratégias; d) capacidade de alocar recursos em outras partes da memória de trabalho; e e) capacidade de evocar informações armazenadas na memória de longo prazo.

O segundo componente é a alça fonológica, que armazenaria e processaria as informações codificadas verbalmente, sejam elas apresentadas por via auditiva ou visual. Conta com dois subcomponentes: o armazenador fonológico ou memória fonológica de curto-prazo, que armazena informações verbais, escritas ou faladas; e um mecanismo de reverberação ou ensaio articulatório subvocal, que permite resgatar informações verbais em declínio, mantendo-as na memória de trabalho (Gathercole, 1998; Baddeley, 2003). A alça fonológica transforma o estímulo perceptual em códigos fonológicos, que incluem propriedades acústica, temporal e sequencial do estímulo verbal (Gilliam e Van Kleeck, 1996). Posteriormente, esses códigos fonológicos são combinados com outros previamente armazenados memória de longo-prazo formando fonemas e palavras.

Outro componente é o esboço visuo-espacial, que realiza o processamento e a manutenção de informações visuais e espaciais referente aos objetos e às relações espaciais entre eles. Ao mesmo tempo, desempenha papel relevante na formação e manipulação de imagens mentais (Baddeley, 2006). Assim como a alça fonológica, o esboço visuo-espacial é composto por um armazenador temporário, em que as características físicas dos objetos são representadas na consciência. Além disso, esse componente da memória de trabalho é constituído de um mecanismo espacial que permite que o indivíduo possa se localizar, inclusive planejando movimentos através da atualização de novas informações visuo-espaciais.

Com o objetivo de buscar uma interface entre a memória de trabalho e a memória de longo-prazo, Baddeley (2000) adicionou ao modelo um quarto componente: o retentor episódico. Este é um componente de armazenamento temporário e com capacidade limitada, acessível à consciência, que dialoga com a memória de longo-prazo episódica e semântica na construção de representações integradas com base em uma nova informação. Desta forma, o retentor episódico permite gerenciar uma grande quantidade de informação, que ultrapasse a capacidade de armazenamento fonológico e visuo-espacial, sem depender do executivo central (Baddeley, 2003).

Calculado neste modelo de memória de trabalho, pode-se então investigar como ocorre o desenvolvimento de cada um destes componentes ao longo da infância e da adolescência.

3. O desenvolvimento da memória de trabalho

Estudar o desenvolvimento da memória de trabalho ainda é um desafio. Apesar do surgimento de instrumentos e tarefas voltadas para a investigação da memória de trabalho, ainda não existem medidas específicas capazes de avaliar cada um de seus componentes. Habilidades cognitivas tais como a atenção seletiva, o controle inibitório, a flexibilidade cognitiva e a memória de trabalho propriamente dita apresentam fronteiras muito tênues, dificultando assim o estudo mais detalhado de cada uma dessas funções. Ao mesmo tempo,

compreender o desenvolvimento dessas funções na criança, que está em constante crescimento, torna a tarefa mais árdua ainda. Mesmo com todas essas dificuldades, é possível traçar um panorama geral acerca do desenvolvimento da memória de trabalho.

A capacidade de processar, armazenar e manipular informações de forma dinâmica na nossa consciência está intimamente relacionado à capacidade de resolução de problemas. Embora a memória de trabalho seja uma função extremamente importante para a criança desempenhar suas atividades escolares, evidências demonstram que elementos precursores e formas rudimentares dessa função já estão presentes na primeira infância (Reiznick *et al.*, 2004). Um estudo que investigou a noção de permanência de objetos através da tarefa de atraso de resposta, constatou que bebês iniciam a procura por objetos escondidos entre os 4 a 8 meses de idade (Brainerd, 1978). Outro comportamento que requer memória fonológica de curto-prazo é a ação dos bebês imitarem os sons falados pelos pais.

À medida que o desenvolvimento progride, há uma melhora em todo funcionamento cognitivo da criança. Segundo Gathercole e Baddeley (1993), a principal mudança que ocorre durante o desenvolvimento da memória de trabalho é o aumento da eficácia operacional e da velocidade de processamento de informação, bem como uma maior utilização de estratégias nas resoluções de problemas. Ou seja, a criança passa a processar informações mais rapidamente e de forma automática, permitindo lidar com um maior número de informações ao mesmo tempo. Entretanto, a habilidade que tem sido mais investigada são os armazenadores temporários fonológico e visuo-espacial, muito provavelmente devido a simplicidade destes subcomponentes da memória de trabalho.

Uma medida tradicional utilizada para investigar essa capacidade limitada da memória de curto-prazo são as tarefas de amplitude de memória ou *span* (*span* de dígitos, *span* de palavras, *span* visual, etc). Nesta tarefa, pede-se ao sujeito que repita dígitos ou palavras, na mesma ordem ou na ordem inversa, imediatamente após tê-los ouvido ou visto. Em seu artigo intitulado "*O mágico número sete, mais ou menos dois*", Miller (1956) constatou que um indivíduo adulto pode reter na memória de curto-prazo, entre cinco a nove itens de informações agrupadas. Estudos utilizando esse tipo de tarefa observaram diferenças entre as faixas etárias na capacidade de armazenamento da memória, havendo um aumento gradual com a idade. Crianças com 2 anos de idade apresentam uma amplitude em torno de dois itens, enquanto aquelas de 9 anos podem chegar aos seis itens (Dempster, 1981).

Ao longo do desenvolvimento, o funcionamento e a relação entre os componentes da memória de trabalho podem variar. Crianças aprendem a utilizar os componentes de inúmeras maneiras, seja através do emprego de novas estratégias ou por um maior grau de velocidade no processamento da informação. A seguir, serão apresentados alguns marcos no desenvolvimento de cada um dos componentes da memória de trabalho. Entretanto, não iremos abordar o retentor episódico uma vez que existe ainda uma enorme carência de trabalhos em relação a esse componente devido a sua inclusão mais recente no atual modelo de memória de trabalho.

3.1. A alça fonológica

Na maioria das crianças, o armazenador fonológico, um dos componentes da alça fonológica, parece estar estabelecido aos 3 anos. Por exemplo, crianças nessa faixa etária já são capazes de lembrar de duas ou três palavras em sequência. Aos 4 anos, encontra-se também presente um precursor do ensaio articulatório subvocal que atinge seu pleno desenvolvimento aos 7 anos de idade (Gathercole, 1998). Flavell e colaboradores (1966) observaram que crianças menores de 7 anos não apresentavam sinais de ensaio tais como movimento dos lábios ou murmúrio de palavras no intervalo entre as memorizações. Outro

estudo realizado por Johnston e colaboradores (1987) com crianças de 5 anos verificou que os ensaios não são usados espontaneamente, mas podem ser induzidos através de treinamento. Embora o armazenador fonológico seja basicamente passivo, a melhora no ensaio articulatorio subvocal auxilia a expansão da amplitude de memória (Conway *et al.*, 2002).

Apesar dos inúmeros estudos já realizados, os mecanismos envolvidos no armazenador fonológico ainda não são totalmente compreendidos, especialmente aqueles que dizem respeito ao aumento da amplitude de memória em crianças pré-escolares. Geralmente, a melhora da capacidade de armazenamento fonológico é explicada devido a um aumento na velocidade da fala. Assim, quanto mais rápida é a velocidade da fala da criança, melhor é a velocidade de evocação, ocorrendo uma diminuição do declínio dos itens a serem evocados (Swanson e Howell, 2001). Embora o intervalo de retenção (quase dois segundos) permaneça constante durante o desenvolvimento e o envelhecimento, o número de itens retidos aumenta à medida que mais palavras podem ser armazenadas numa mesma quantidade de tempo. Uma articulação mais rápida durante uma recordação oral também reduz o intervalo de retenção total, o que significa que mais palavras podem ser lembradas antes de haver um declínio das mesmas (Henry e Millar, 1993).

Outros fatores que também podem influenciar no aumento ou diminuição da capacidade do armazenador fonológico são os efeitos de similaridade fonológica, de extensão de palavras e de supressão articulatória (Gathercole e Baddeley, 1993). No efeito de similaridade, sons, letras ou palavras que possuem semelhança auditiva são mais difíceis de serem lembrados. Já no efeito de extensão, quanto mais longas forem as palavras, mais difíceis de serem armazenadas e evocadas. Crianças menores de 7 anos parecem não sofrer os efeitos da extensão das palavras (Henry, 1991). Finalmente, o efeito de supressão articulatória está relacionado à impossibilidade de ativar o ensaio subvocal graças à presença de um distrator, tal como a emissão de um som sem significado ("a..a..a", por exemplo) durante o processo de evocação. Neste caso, ocorre um declínio expressivo no desempenho da criança ao evocar uma tarefa dessa natureza.

Mas, será que a aquisição de vocabulário pode estar relacionada ao aumento da amplitude de memória de trabalho? Sem dúvida esse aspecto possui grande influência no armazenamento fonológico temporário, sendo crucial para a construção de representações estáveis de novas palavras. Quanto maior o vocabulário, maior a capacidade de consolidar novas palavras na memória de longo-prazo (Baddeley *et al.*, 1998). Uma tentativa de isolar o aspecto lexical do aumento da amplitude de memória é a utilização de pseudopalavras (ou palavras sem sentido). Neste caso, o armazenador fonológico não sofre influências léxicas, seja ela de conhecimento fonológico, semântico ou sintático. Assim, a criança deve manter apenas as representações de palavras sem significado em sua memória de trabalho, independente de qualquer mecanismo associado à memória de longo-prazo (Gathercole *et al.*, 1999).

Por depender do material a ser recordado, bem como dos níveis das habilidades cognitivas adquiridas, a amplitude da memória fonológica varia de indivíduo para indivíduo. Apesar das questões levantadas acerca dos mecanismos envolvidos na alça fonológica, é muito provável que esse aumento seja resultado da combinação de inúmeros fatores, relacionados aos processos da memória de trabalho como também do desenvolvimento de processos cognitivos subjacentes.

3.2. O esboço visuo-espacial

A característica mais peculiar do funcionamento do esboço visuo-espacial é que a retenção e ensaio das informações visuo-espaciais dependem fortemente da alça fonológica

(Pickering, 2001). Na maioria dos casos, quando precisamos recordar informações visuais, utilizamos a alça fonológica para auxiliar na codificação do estímulo. Essa característica dificulta a investigação do funcionamento exclusivo do esboço visuo-espacial, uma vez que estão presentes elementos da alça fonológica. Para evitar esse problema, foram desenvolvidas tarefas que avaliam de forma mais específica o esboço visuo-espacial, tais como os blocos de Corsi ou as tarefas de padrões visuais. A partir do estudo de Logie e Pearson (1997), verificou-se que o desempenho nessas duas tarefas citadas aumentava com a idade, apesar disso, não se sabe o fator causal deste crescimento.

Por via de regra, seres humanos codificam informações visuo-espaciais por meio de sistemas linguísticos. Por exemplo, símbolos, figuras e objetos familiares são interpretados verbalmente e não pelas suas características e disposições sensoriais. Essa interface entre o esboço visuo-espacial e a alça fonológica faz com que o processamento de estímulos visuo-espaciais não seja tão dependente das propriedades físicas do estímulo. A origem desse processo parece ocorrer entre os 6 e 8 anos, que corresponde ao período em que as crianças aprendem a ler. Antes da aquisição dessa interface, crianças pré-escolares lembram das informações não-verbais exclusivamente por vias visuais. Um exemplo é o estudo de Hitch e colaboradores (1988). Neste estudo, observou-se que crianças de 10 anos eram menos sensíveis à similaridade dos objetos, bem como apresentaram menor nível de recordação quando os objetos possuíam um nome mais longo, comparadas à crianças de 5 anos.

A amplitude do esboço visuo-espacial também aumenta durante o desenvolvimento infantil. Normalmente, crianças de 4 anos de idade são capazes de lembrar uma sequência de duas a três fotos (Gathercole e Baddeley, 1993). Entre os 5 e 11 anos de idade, a capacidade de memória de trabalho visuo-espacial duplica, atingindo um nível próximo a de um adulto (Riggs *et al.*, 2006). De qualquer forma, a facilidade de armazenamento depende do estímulo visual apresentado. Um estudo demonstrou que era mais fácil recordar blocos dispostos regularmente do que figuras assimétricas e desestruturadas (Kemps, 1999).

Ao contrário da amplitude da alça fonológica, a melhora no desempenho destas tarefas parece ser resultado de um aumento real da capacidade de armazenamento do esboço visuo-espacial, ao invés de uma melhora na eficácia do sistema ou na utilização de estratégias que facilitam o uso deste componente da memória de trabalho. Deve-se notar que existem situações onde o processamento visuo-espacial é extremamente complexo. Neste caso, o esboço visuo-espacial recorre às habilidades do executivo central para realizar tarefas dessa natureza (Gathercole e Baddeley, 1993).

3.3. O executivo central

Estudos neuropsicológicos têm demonstrado que o desenvolvimento do executivo central, bem como da capacidade da memória de trabalho em geral, estão relacionados à maturação do córtex pré-frontal (Kane e Engle, 2002). Quando comparado aos outros componentes da memória de trabalho, o executivo central apresenta seu desenvolvimento tardiamente, alcançando seu pleno amadurecimento no final da adolescência.

O desenvolvimento do executivo central tem sido estudado através de tarefas complexas que requerem tanto o armazenamento quanto a manipulação mental da informação. Exemplos de tarefas utilizadas para avaliar esse componente são o *span* de dígitos/blocos em sentido inverso assim como o *span* de leitura/escuta. Na primeira tarefa, a pessoa evoca os dígitos ou blocos na ordem inversa à apresentada pelo examinador. A tarefa de *span* de leitura/escuta consistem em processar a informação apresentada através da leitura ou da escuta e ao mesmo tempo reter a sequência das últimas palavras lidas ou ouvidas.

Calcado nessas tarefas, Siegel (1994) observou um aumento na amplitude do executivo central em crianças entre 6 e 15 anos de idade.

Outro método muito utilizado para avaliar o executivo central é o paradigma *n-back* (Gevins *et al.*, 1987). Nesta tarefa, o sujeito deve indicar se um estímulo apresentado na tela (estímulo alvo) é similar ou diferente do estímulo apresentado anteriormente, sendo *n* um valor pré-estabelecido pelo pesquisador, geralmente 1 (1-*back*), 2 (2-*back*) ou 3 (3-*back*). Quanto o maior o valor de *n*, maior a dificuldade da tarefa. Devido a grande necessidade de manipulação mental de informações e da sua relativa facilidade de ser operacionalizado, esta tarefa tem sido bastante utilizada em estudos de neuroimagem (para revisão Owen *et al.*, 2005).

Utilizando o paradigma *n-back*, Vuontela e colaboradores (2003) constataram que crianças de 9 e 10 anos obtiveram um melhor desempenho que as de 6 e 8 anos o paradigma de 2-*back*. Mais ainda, as crianças mais novas executaram a tarefa mais rapidamente, porém, com menos precisão em relação as mais velhas. Isto sugere um comportamento mais impulsivo, podendo estar associado a um maior grau de imaturidade nos sistemas inibitórios.

Como discutido anteriormente, a alça fonológica e o esboço visuo-espacial desenvolvem-se de forma relativamente independente. Com o amadurecimento do executivo central, estes dois componentes passam a apresentar um maior grau de interdependência, uma vez que cabe ao executivo central mediar uma comunicação entre eles.

4. Prejuízos da memória de trabalho no aprendizado escolar

A memória de trabalho desempenha um papel crucial em muitas formas de cognição complexa tais como a aprendizagem, o raciocínio e a compreensão da linguagem. Nesse sentido, falhas nesse sistema podem provocar prejuízos no processo de aprendizagem, na leitura e compreensão de um texto, e na resolução de problemas de matemática. Dessa forma, o mau-funcionamento de um ou mais componentes da memória de trabalho relaciona-se intimamente com as dificuldades de aprendizagem e ao baixo rendimento escolar (Alloway, 2006).

Segundo Vallet (1977), o termo “distúrbio de aprendizagem” tem sido usado para indicar um prejuízo na aquisição e utilização de informações e/ou na habilidade para resolução de problemas. Essas limitações muito provavelmente estão associadas à prejuízos no processamento, armazenamento ou manipulação de informações na memória de trabalho, seja por vias internas ou externas ao indivíduo. Essa alteração pode envolver algumas habilidades, tais como: linguagem oral (fonologia, morfologia, semântica, sintaxe), leitura (habilidade no uso da palavra, reconhecimento de letras, compreensão), escrita (soletrar, ditado, cópia), matemática (habilidade de cálculo básico, raciocínio matemático) e nas combinações e/ou relações entre elas (Ciasca, 2003)

Crianças com dificuldades de aprendizagem podem apresentar limitações na capacidade de armazenar ou organizar de forma adequada informações processadas, apresentando assim problemas para evocar informações necessárias para a execução de uma tarefa acadêmica. Dessa forma, problemas de aprendizagem durante a infância podem estar relacionados com processos de desenvolvimento de um ou vários componentes da memória de trabalho (Souza e Sisto, 2001).

Outros exemplos de problemas associados à memória de trabalho referem-se à leitura e compreensão do texto. De acordo com De Jong (2006), o ato de aprender a ler envolve a aquisição da habilidade de decodificar uma palavra – que é a habilidade de identificar cada palavra separadamente – e a habilidade de compreender o texto escrito, obtendo uma

coerência entre as ideias e o conhecimento já existente na memória de longo-prazo. Assim, um componente da memória de trabalho fundamental nesse processo é a alça fonológica.

Limitações na memória de trabalho podem estar relacionadas à prejuízos no processamento de linguagem (Daneman e Carpenter, 1980). Ou seja, se o indivíduo executa os processos específicos a compreensão em leitura (decodificação de letras e palavras, acesso lexical, segmentação sintática, construção e monitoramento de inferências e integração de texto) de maneira ineficiente, consome grande parte dos seus recursos da memória de trabalho. Consequentemente, a criança passa a ter menos recursos disponíveis para armazenar na memória de trabalho informações já processadas assim como recursos necessários para dar continuidade ao processo de leitura. Outros estudos indicam também que adultos ou crianças com uma pobre compreensão de leitura têm prejuízo em mecanismos inibitórios para suprimir significados de palavras ambíguas e irrelevantes (Barnes *et al.*, 2004). Em tarefas de memória de trabalho, crianças com uma baixa compreensão apresentam grande número de intrusões na evocação das palavras (De Beni e Palladino, 2000).

A matemática é um domínio complexo em que há a contribuição de uma série de habilidades cognitivas para seu desempenho adequado. Uma delas é a memória de trabalho. A relação entre a memória de trabalho e as habilidades aritméticas varia de acordo com a idade das crianças e com a complexidade das tarefas matemáticas. Estudos epidemiológicos indicam que 3 a 6% de crianças em idade escolar apresentam dificuldades nessa área de conhecimento (Gross-Tsur *et al.*, 1996).

Evidências sugerem que os diferentes componentes de memória de trabalho podem ter papéis especializados na aritmética (Ashcraft 1995). Por exemplo, a alça fonológica parece estar envolvida na contagem e na retenção de informação de cálculos complexos (Logie *et al.*, 1994). O esboço visuo-espacial parece ser um componente importante para a resolução de problemas com muitos dígitos, onde a representação mental do posicionamento das colunas é fundamental para a resolução dos cálculos matemáticos (Heathcote, 1994). O executivo central também tem papel importante na resolução dessas tarefas. Ashcraft e colaboradores (1992) sugeriram que o executivo central seria responsável por iniciar e orientar o processamento, mas principalmente, na manipulação das informações processadas e sua interface com a memória de trabalho.

5. Considerações finais

A memória de trabalho representa um modelo atual que funciona como uma espécie de interface entre o processamento e armazenamento temporário de estímulos do meio externo, mecanismos de atenção e memória de longo-prazo. É uma estrutura que apresenta vários componentes que se desenvolvem ao longo da infância e da adolescência.

O funcionamento adequado da memória de trabalho permite com que o indivíduo possa resolver atividades cognitivas que se apresentam no dia-a-dia. Prejuízos no funcionamento desse sistema estão associados a uma extensa gama de quadros psicológicos. Em particular, destacam-se os problemas específicos de aprendizagem tais como na leitura, ortografia e fraco desempenho em cálculos matemáticos.

A ausência de instrumentos capazes de avaliar cada um dos componentes da memória de trabalho representa uma grande limitação não só teórica e metodológica como também clínica. Certamente, métodos de diagnóstico mais precisos poderão guiar de forma mais clara intervenções dentro do ambiente escolar.

6. Referências bibliográficas

- Alloway, T.P. (2006). How does working memory work in the classroom? *Educ. Res. Rev.*, 1, 134-139.
- Alloway, T.P.; Gathercole, S.E.; Willis, C.E. e Adams, A. (2004). A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children. *J. Experim. Child Psychol.*, 7 (87), 85-106.
- Ashcraft, M.H. (1995). Cognitive psychology and simple arithmetic: A review and summary of new directions. *Math. Cogn.*, 1, 3-34.
- Ashcraft, M.H.; Donley, R.D.; Halas, M.A. e Vakali, M. (1992). Working memory, automaticity, and problem difficulty. Em: Campbell, J.I.D. (Ed.), *The nature and origins of mathematical skills*. Amsterdam: Elsevier.
- Baddeley, A.D. (2006) Working memory: an overview. Em: Pickering, S.J. (Org). *Working memory and education*. Amsterdam: Elsevier Press.
- Baddeley, A.D. (2003). Working Memory and Language: an overview. *J. Com. Disorders*, 36, 189-208.
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends Cognitive Sci.*, 4, 417-423.
- Baddeley, A.D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly J. Exp. Psychol.*, 49, 5-28.
- Baddeley, A.D. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559.
- Baddeley, A.D. (1986). *Working memory*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Baddeley, A.D. e Hitch, G. (1974). Working Memory. Em: Bower, G.A. (Ed). *Recent advances in learning and motivation*. New York: Academic Press.
- Baddeley, A.D.; Gathercole S. e Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychol. Rev.*, 105, 158-173.
- Barnes, M.A.; Faulkner, H.; Wilkinson, M. e Dennis, M. (2004). Meaning construction and integration in children with hydrocephalus. *Brain Language*, 89, 47-56.
- Brainerd, C.J. (1978). The stage question in cognitive-developmental theory. *Behav. Brain Sci.*, 1, 173-213.
- Ciasca, S.M. (2003). Distúrbios e dificuldades de aprendizagem: questão de nomenclatura. Em: Ciasca S.M. (Org). *Distúrbios de aprendizagem: Proposta de avaliação interdisciplinar*. São Paulo: Casa do Psicólogo.
- Conway, A.R.A.; Cowan, N.; Bunting, M.F.; Theriault, D.J. e Minkoff, S.R.B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30, 63-183.
- Cowan, N. (1999). An embedded-process model of working memory. Em: Miyake, A. e Shah, P. (Orgs). *Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Daneman, M. e Carpenter, P.A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *J. Verbal Learning Verbal Behav.*, 19, 450-466.
- De Beni, R. e Palladino, P. (2000). Intrusion errors in working memory tasks: Are they related to reading comprehension ability. *Learning Individual Differences*, 12, 131-143.
- De Jong, P.F. (2006). Understanding normal and impaired reading development: A working memory perspective. Em: Pickering, S.J. (Org). *Working memory and education*. Amsterdam: Elsevier Press.
- Dempster, E.N. (1981). Memory span: Sources of individual and developmental differences. *Psychological Bull.*, 89, 63-100.

- Engle, R.W. (1996). Working memory and retrieval: An inhibition-resource approach. Em: Richardson, J.T.E.; Engle, R.W.; Hasher, L.; Logie, R.H.; Stoltzfus, E.R. e Zacks R.T. (Eds.). *Working memory and human cognition*. New York: Oxford U. Press.
- Flavell, J.H., Beach, D.H. e Chinsky, J.M. (1966). Spontaneous verbal rehearsal in a memory task as a function of age. *Child Development*, 37, 283-299.
- Gathercole, S.E. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory, *Trends Cogn. Sci.*, 3, 410-419.
- Gathercole, S.E. (1998). The development of memory. *J. Child Psychol. Psychiatry*, 39, 3-27.
- Gathercole, S.E. e Baddeley, A.D. (1993). *Working memory and language*. Hove, England: Erlbaum.
- Gathercole, S.E.; Pickering, S.J.; Ambridge, B., e Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychol.*, 40, 177-190.
- Gathercole, S.E.; Service, E.; Hitch, G.J.; Adams, A.M. e Martin, A.J. (1999). Phonological short-term memory and vocabulary development: Further evidence on the nature of the relationship. *Applied Cogn. Psychol.*, 13, 65-77.
- Gevins, A.S.; Morgan, N.H.; Bressler, S.L.; Cutillo, B.A.; White, R.M.; Illes, J.; Greer, D.S.; Doyle, J.C. e Zeitlin, G.M. (1987). Human neuroelectric patterns predict performance accuracy. *Science*, 235 (4788), 580-585.
- Gillam, R.B. e van Kleeck, A. (1996). Phonological awareness training and short-term working memory: Clinical implications. *Topics Language Disorders*, 17, 72-81.
- Gross-Tsur, V.; Manor, O. e Shalev, R.S. (1996). Developmental dyscalculia: Prevalence and demographic features. *Dev. Med. Child Neurol.*, 38, 25-33.
- Heathcote, D. (1994). The role of visuo-spatial working memory in the mental addition of multi-digit addends. *Cur. Psychol. Cogn.*, 13, 207-245.
- Helene, A.F. e Xavier, G.F. (2007). Memória e (a elaboração da) percepção, imaginação, inconsciente e consciência. Em: Landeira-Fernandez, J. e Silva, M.T.A. (Orgs). *Intersecções entre psicologia e neurociências*. Rio de Janeiro: MedBook.
- Henry, L.A. (1991). The effects of word length and phonemic similarity in young children's short-term memory. *Quarterly J. Exp. Psychol.*, 43, 35-52.
- Henry, L.A. e Millar, S. (1993). Why does memory span improve with age? A review of the evidence for two current hypotheses. *Eur. J. Cogn. Psychol.*, 5, 241-287.
- Hitch, G.J.; Halliday, M.S.; Schaafstal, A.M. e Schraagen, J.M.C. (1988). Visual working memory in young children. *Memory Cogn.*, 16, 120-132.
- Isaacs, E.B. e Vargha-Khadem, F. (1989). Differential course of development of spatial and verbal memory span: A normative study. *Br. J. Develop. Psychol.*, 7, 377-380.
- Johnston, R.S.; Johnson, C. e Gray, C. (1987). The emergence of the word length effect in young children: The effects of overt and covert rehearsal. *Br. J. Develop. Psychol.*, 5, 243-248.
- Kane, M.J. e Engle R.W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective. *Psychonomic Bull. Rev.*, 9, 637-671.
- Kemps, E. (1999). Effects of complexity on visuo-spatial working memory. *Eur. J. Cogn. Psychol.*, 11, 335-356.
- Linden, M.V.D.; Bredart, S. e Beerten, A. (1994). Age-related differences in updating working memory. *Br. J. Psychol.*, 85, 145-151.
- Logie, R.H. e Pearson, D.G. (1997). The inner ear and the inner scribe of visuo-spatial working memory: Evidence from developmental fractionation. *Eur. J. Cogn. Psychol.*, 9, 241-257.

- Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Rev.*, 63, 81-97
- Owen, A.M.; McMillan, K.; Laird, A. e Bullmore, E. (2005). The n-back working memory paradigm: a meta-analysis of normative fMRI studies. *Human Brain Mapping*, 25, 46-59.
- Pickering, S.J. (2001). The development of visuo-spatial working memory. *Memory*, 9, 423-432.
- Reznick, J.; Morrow, J.; Goldman, B. e Snyder, J. (2004). The onset of working memory in infants. *Infancy*, 6, 145-154.
- Riggs K.J.; McTaggart J.; Simpson A. e Freeman R.P.J. (2006). Changes in the capacity of visual working memory in 5- to 10-year-olds. *J. Exp. Child Psychol.*, 95, 18–26.
- Siegel, L.S. (1994). Working memory and reading: A life-span perspective. *Int. J. Behav. Develop.*, 17, 109-124.
- Souza, A.R.M. e Sisto, F.F. (2001). Dificuldade de aprendizagem em escrita, memória e contradições. *Psicologia Escolar e Educacional*, 5, 39-47.
- Swanson, H.L. e Howell, M. (2001). Working memory, short-term memory, and speech rate as predictors of children's reading performance at different ages. *J. Educ. Psychol.*, 93, 720-734.
- Vallet, R.E. (1977). *Tratamento de distúrbios de aprendizagem: Manual de programas psicoeducacionais*. São Paulo: EDU/EDUSP.
- Vuontela V.; Steenari M.R.; Carlson S.; Koivisto J.; Fjallberg M. e Aronen E.T. (2003). Audiospatial and visuospatial working memory in 6-13 year old school children. *Learning Memory*, 10, 74-81.