

Estado da publicação: Não informado pelo autor submissor

# Contribuições das neurociências para a aprendizagem: um guia para o estudante

Felipe Viegas Rodrigues

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.6590>

Submetido em: 2023-08-10

Postado em: 2023-10-20 (versão 2)  
(AAAA-MM-DD)

Justificativa da versão: The new version contains changes pre-evaluation required by the journal intended for publication.

ARTIGO

## CONTRIBUIÇÕES DAS NEUROCIÊNCIAS PARA A APRENDIZAGEM ALÉM DA SALA DE AULA

FELIPE VIEGAS RODRIGUES<sup>1</sup>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1073-867X>

[<rodrigues.fv@gmail.com>](mailto:rodrigues.fv@gmail.com)

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Educação, Unoeste. Presidente Prudente, São Paulo (SP), Brasil.

**RESUMO:** Apesar da educação formal existir há milênios e a psicologia contribuir com a compreensão da aprendizagem há mais de cem anos, técnicas eficazes de aprendizagem continuam ausentes do repertório de estratégias dos estudantes. Este trabalho teórico foca em insights da neurociência para a aprendizagem de estudantes e examina a efetividade das estratégias de estudo comumente empregadas. Um achado fundamental é que as memórias tendem ao esquecimento a menos que as emoções sejam engajadas no momento da aquisição da informação ou que ocorra uma repetição explícita do processo de aprendizagem. Além disso, prestar atenção integral ao conteúdo desejado é fundamental para otimizar a formação de traços de memória efetivos. Dessa forma, não é surpreendente que técnicas com baixa relevância para os mecanismos de atenção ou com interação limitada com as informações – como grifar textos, fazer uma leitura simples, usar palavras-chave ou imagens mentais e até mesmo fazer resumos – tenham eficácia baixa. Por outro lado, envolver-se em exercícios de resolução de problemas e estabelecer uma rotina de estudos que distribui e promove acessos espaçados à informação, engaja aspectos fundamentais dos circuitos de atenção e facilita a formação de traços de memória robustos, o que maximiza a probabilidade de aprendizagem efetiva. A aplicação correta de estratégias que se fundamentam nos mecanismos pelos quais o cérebro armazena informações é a maneira mais efetiva de se produzir aprendizado duradouro.

**Palavras-chave:** autoaprendizagem como assunto, eficiência, guia de estudo, memória, psicologia educacional.

### THE CONTRIBUTIONS FROM NEUROSCIENCE TO LEARNING BEYOND THE CLASSROOM

**ABSTRACT:** Despite formal education existing for millennia and psychology contributing to the understanding of learning for over a century, effective learning techniques remain absent from students' repertoire of strategies. This theoretical study focuses on insights from neuroscience for student learning and examines the effectiveness of commonly employed study strategies. A key finding is that memories are prone to fading unless emotions are engaged during information acquisition or explicit repetition of the learning process takes place. Furthermore, providing undivided attention to the desired content is crucial for optimizing the formation of effective memory traces. Therefore, it is not surprising that techniques with low salience to attention mechanisms or limited interaction with the information – such as text highlighting, engaging in simple reading, utilization of keywords or mental imagery, and even summarization – tend to yield low effectiveness. On the other hand, engaging in problem-solving exercises and establishing a study routine that incorporates regular and spaced access to information activate essential aspects of attention circuits and facilitate the formation of strong memory traces,

thereby maximizing the likelihood of effective learning. The correct application of strategies grounded in the mechanisms by which the brain stores information is the most effective way to produce lasting learning.

**Keywords:** self-directed learning as topic; efficiency; study guide; memory; psychology, educational.

## **LAS CONTRIBUCIONES DE LA NEUROCIENCIA A LA APRENDIZAJE EXTRAESCOLAR**

**RESUMEN:** A pesar de que la educación formal existe desde hace milenios y la psicología ha contribuido a la comprensión del aprendizaje durante más de un siglo, las técnicas efectivas de aprendizaje siguen estando ausentes del repertorio de estrategias de los estudiantes. Este estudio teórico se centra en las perspicacias de la neurociencia para el aprendizaje de los estudiantes y examina la efectividad de las estrategias de estudio comúnmente empleadas. Un hallazgo clave es que las memorias tienden a desvanecerse a menos que las emociones se involucren durante la adquisición de información o que se lleve a cabo una repetición explícita del proceso de aprendizaje. Además, prestar atención inquebrantable al contenido deseado es crucial para optimizar la formación de trazas de memoria efectivas. Por lo tanto, no sorprende que las técnicas con poca relevancia para los mecanismos de la atención o una interacción limitada con la información, como resaltar texto, participar en una lectura simple, utilizar palabras clave o imágenes mentales e incluso resumir, tienden a tener una baja efectividad. Por otro lado, involucrarse en ejercicios de resolución de problemas y establecer una rutina de estudio que incorpore accesos regulares y espaciados a la información activa aspectos esenciales de los circuitos de la atención y facilita la formación de trazas de memoria sólidas, maximizando así la probabilidad de un aprendizaje efectivo. La aplicación correcta de estrategias basadas en los mecanismos mediante los cuales el cerebro almacena información es la forma más efectiva de lograr un aprendizaje duradero.

**Palabras clave:** autoaprendizaje como asunto, eficiencia, guía de estudio, memoria, psicología educacional.

## **INTRODUÇÃO**

A educação pode ser definida como a forma pela qual a cultura é perpetuada e desenvolvida, englobando desde a educação informal até a educação formal (Ranney & Shimoda, 1999). Para alguns autores, a educação é interpretada como mais do que uma ciência (Nachonicz, 2002), à medida que promove processos de intervenção para educar. Para outros, é parte das ciências cognitivas (Ranney & Shimoda, 1999, Ansari e Coch, 2006), por estudar processos básicos de aprendizagem, isto é, de aquisição e retenção de informações. Parece inegável que o educar existe desde que o primeiro conhecimento foi transmitido entre dois seres sencientes. Nesse sentido, Richerson e Boyd (2005) argumentam que a cultura é um produto em evolução de cérebros humanos, cérebros esses que foram moldados pelo processo de seleção natural para aprender e gerenciar cultura. Por outro lado, existem evidências claras de cultura em outros mamíferos (Whitehead, 2009), o que sugere que ela não é exclusividade humana, mas sim a educação formal.

O pensamento sistematizado, com racionalidade empírica, pode ser encontrado em textos que datam quase 5.000 anos, como o papiro cirúrgico de Edwin Smith, que claramente possuía propósito de transmissão de conhecimento médico (Minagar, Ragheb, & Kelley, 2003). Johnson e Stearns (2022)

relatam que há evidências arqueológicas de educação formal com 4.000 anos. Por outro lado, um símbolo importante na formalização do ensino é a Academia de Platão em 387 AEC, frequentemente considerada a primeira universidade (Ochoa & Corey, 1995). Avanços fundamentais acontecem a partir do final do século 19, quando a Psicologia se consolida como um novo campo do saber (Kristensen, Almeida & Gomes, 2001) e propõe novas teorias de aprendizagem, sempre com foco em compreender como o indivíduo adquire informações. Nomes como Ivan Pavlov (1849-1936), Lev Vygotsky (1896-1934) e Jean Piaget (1896-1980) são tão conhecidos na psicologia, quanto na educação. Revisar essas teorias está além dos objetivos deste trabalho e há extensa literatura no assunto. Em especial, a segunda metade do século 20 foi marcada pelo entendimento da necessidade do aprendiz ser ativo, da qual derivam a aprendizagem por descoberta, aprendizagem reflexiva, aprendizagem experiencial, o construtivismo e a aprendizagem autorregulada (Markant, Ruggeri, Gureckis & Xu, 2016). Por exemplo, Freeman et al. (2014) mostraram que o uso de metodologias ativas é mais eficaz para aprendizagem do que estratégias passivas como aulas expositivas, pelo menos para disciplinas de ciências, tecnologia, engenharia ou matemática (STEM). Para o estudante, que é o maior interessado no processo, as pesquisas sobre aprendizagem parecem trazer poucos benefícios diretos. Dunlosky, Rawson, Marsh, Nathan e Willingham (2013) defendem que muitos professores desconhecem as técnicas eficazes de estudo que a psicologia testou nas suas várias décadas de existência. Elas poderiam beneficiar os estudantes, que permanecem utilizando estratégias de estudo pouco efetivas.

Nesse contexto, Carter e Kotzee (2015) definem três conceitos epistêmicos inter-relacionáveis em educação: aprender - relacionado a movimentar-se de um estado de menos conhecimento a outro de mais conhecimento; ensinar – a ação sobre outro sujeito para produzir aprendizado, e, por fim, educar - que está relacionado ao processo de ensinar e produzir aprendizado. O processo de aprender, daqui em diante chamado simplesmente de aprendizagem, engloba múltiplas formas de aquisição de conhecimento e, por isso, uma definição interessante de aprendizagem é a capacidade de modificar o comportamento com base em experiências anteriores (Reisberg, 1999, Shettleworth, 2010). Reisberg (1999), no entanto, reconhece que essa definição engloba processos que muitas vezes não são reconhecidos como aprendizagem, especialmente por incluir processos implícitos, isto é, que envolvem memória implícita. A distinção entre aprendizagem implícita e explícita será feita mais adiante em nossa discussão. Adicionalmente, é válido destacar que o aprender não é produzido somente pelo ensinar, mas também pelo estudar – um movimento pessoal que leva ao processo de aprendizagem. Este, porém, não é um conceito enfatizado por Carter e Kotzee (2015), apesar dos autores mencionarem que a aprendizagem também acontece independentemente. Mas a importância de incluir o estudar como um episteme é enfatizar o papel ativo do estudante na aprendizagem. E não se trata de um papel ativo em sala apenas, como as metodologias efetivas já propõem, mas o estudar individualizado, sem distrações e que melhora a qualidade no contato com a informação a ser aprendida.

### **Eficiência de diferentes estratégias de estudo**

Dunlosky et al. (2013) fizeram uma extensa revisão sobre dez técnicas comuns de aprendizagem, escolhidas pelo seu uso e adoção fáceis. O intuito foi investigar a eficácia, ao avaliar se os

seus benefícios poderiam ser generalizados em quatro categorias de variáveis: condições de aprendizagem, características dos estudantes, materiais utilizados e o critério da tarefa a ser executada. Para cada uma das categorias, as estratégias de estudo foram classificadas como negativas, insuficientes, qualificadas (quando apresentaram resultados mistos, positivos, mas também inconclusivos nos diversos trabalhos) ou positivas para aprendizagem, o que levou a uma avaliação geral de eficácia. Os resultados da avaliação são bastante interessantes ao apontar que estratégias largamente utilizadas, como grifar textos, usar palavras-chave ou imagens mentais, ler várias vezes e até fazer resumos tem eficácia baixa. As estratégias de interrogação elaborativa, auto-explicação e prática intercalada, tiveram eficácia moderada. As únicas estratégias com eficácia alta são a prática distribuída e os testes práticos.

O objetivo principal deste trabalho é reconciliar essas conclusões com a pesquisa atual em neurociências e fornecer uma compreensão abrangente dos mecanismos neurobiológicos subjacentes. Para isso, é imperativo estabelecer uma estrutura contextual ao integrar as descobertas da neurociência sobre os processos cognitivos e seus substratos neurais.

## **CONTRIBUIÇÕES DAS NEUROCIÊNCIAS**

Shettleworth (2010) afirma que na psicologia, tradicionalmente, aprendizagem e memória compõem áreas de pesquisa distintas. Enquanto as pesquisas em aprendizagem usualmente buscam compreender como a informação sobre as relações entre os eventos é adquirida – medida por meio de alterações duradouras no comportamento – pesquisas em memória investigam como a informação é armazenada, consolidada e evocada. No entanto, a autora argumenta que os resultados dos dois processos são semelhantes, senão idênticos – por exemplo, formar uma imagem mental, adquirir uma resposta condicionada ou reconhecer um estímulo no ambiente. Nesse sentido, a defesa é que a tradicional dicotomia entre aprendizagem e memória é questionável e tem sido ignorada nas pesquisas contemporâneas em neurociências da memória, nas quais as investigações sobre as mudanças cerebrais relacionadas à aprendizagem têm sido classificadas como estudos de memória (e.g., Scoville & Milner, 1957; Corkin, 2002; Rasch, & Born, 2013; Squire, Genzel, Wixted, & Morris, 2015). Nesse contexto, as inferências que serão feitas sobre os processos cerebrais necessários à aprendizagem, terão como base muito dos estudos que investigam a memória.

### **Memória**

A memória tem sido distinta em processos de curto prazo e longo prazo desde os primórdios da psicologia (e.g. James, 1890/1931). A descrição de curto prazo de William James é bastante semelhante àquela que atualmente é feita para a memória operacional (Baddeley, 2010; Kwak & Curtis, 2022). Já sua descrição de memória de longo prazo é indistinta do conceito atual sobre memórias explícitas ou declarativas, que compõe o conhecimento semântico - o conhecimento geral sobre os fatos do mundo - e o conhecimento episódico - as memórias para eventos com contexto espacial e temporal específico (Corkin, 2002). Squire (2009) ressalta que as memórias declarativas são o fenômeno associado ao uso do termo memória no senso comum, a capacidade de saber fatos e eventos.

Entretanto, esta dicotomia foi perturbada na metade do século 20 com a publicação de uma série de relatos de caso por Scoville e Milner (1957), com destaque para o paciente H.M. O prejuízo comportamental de H.M. envolvia uma amnésia retrógrada parcial ao longo de três anos anteriores até sua cirurgia - identificada inicialmente como perda de memória recente - e um “prejuízo não só severo, mas também permeado” de amnésia anterógrada (Corkin, 2002, pág. 153), com capacidade de aprendizagem semântica virtualmente não preservada. O paciente H.M. foi o exemplo perfeito de como memórias de curto e longo prazo dependem de sistemas distintos. Scoville e Milner (1957) relatam que H.M. e outros dois pacientes com prejuízos graves de memória não tinham dificuldades em “reter um número de três dígitos ou um par de palavras não relacionadas por vários minutos, se cuidado fosse tomado em não os distrair durante o intervalo” (pág. 15). Em conjunto, a evidência clínica e neuropsicológica permite afirmar que H.M. era capaz de codificar novas informações, mas incapaz de usá-las para a formação de um traço de memória de longo prazo (Corkin, 2002). É importante destacar que a expressão memória recente utilizada por Scoville (1954) não se refere à memória de curto prazo, tanto nos termos do século 19, quanto nos termos utilizados hoje.

O dado mais revelador sobre o paciente H.M., no entanto, era sua capacidade preservada de aprender novas habilidades, inicialmente evidenciada para o aprendizado motor, mas também por outros efeitos como a pré-ativação por repetição (*repetition priming*) e pela aprendizagem perceptual (Corkin, 2002). Estes achados levaram ao reconhecimento de múltiplos sistemas de memória de longo prazo e, em especial, ao entendimento de que todas essas outras formas de aprendizado são independentes do hipocampo e do relato verbal (Helene & Xavier, 2003). A ausência do hipocampo e giro parahipocampal, tirou a capacidade de H.M. reter novos conhecimentos explícitos (declarativos), mas preservou a capacidade de aprendizagem implícita (não-declarativa), dependente dos núcleos da base para aprendizado motor. A memória implícita distingue-se pela necessidade de repetição para consolidação e pode ser evidenciada somente pelo desempenho de uma tarefa ou habilidade. Portanto, o paciente H.M. era capaz de aprender como fazer tarefas, mas incapaz de relatar o que aprendeu.

Interessantemente, Liu, Forest, Duncan e Finn (2023) mostraram que os traços de memórias implícitas e explícitas têm padrões distintos de consolidação, com traços implícitos tornando-se mais fortes independente da reapresentação (ou novo treino) da informação e, traços explícitos, decaindo no mesmo prazo, embora possam ser reforçados por nova apresentação da informação. Traços de memória referem-se a alterações sinápticas instáveis, sujeitas a interferência e esquecimento, que ocorrem ao longo do dia pela interação com o ambiente (Lomo, 2003; Rasch, & Born, 2013). Nesse sentido, Radvansky, Doolen, Pettijohn, & Ritchey (2022) defendem que a curva de esquecimento para conteúdos semânticos é um dos achados mais bem estabelecidos da pesquisa em memória. Por outro lado, os autores argumentam que a curva de esquecimento já deveria ser plenamente previsível, como é comum em muitas outras ciências. Os autores propõem que a retenção da informação, e conseqüentemente o esquecimento, pode ser dividido em fases que acompanham as mudanças associadas à consolidação da memória no córtex cerebral. Essas fases incluem (a) memória de curto prazo/operacional durante o primeiro minuto de retenção, (b) memória de longo prazo precoce, entre um minuto e 12h, (c) memória de longo prazo transicional, entre 12h e sete dias, e (d) consolidação de sistemas (Squire et al., 2015), para aprendizagem efetiva, por deslocar a representação da informação do hipocampo para o córtex cerebral. É importante

ressaltar que todo o processo de consolidação envolve a organização e reorganização de redes neurais do córtex cerebral (Rasch, & Born, 2013; Brunec, Robin, Olsen, Moscovitch, & Barense, 2020).

Desta síntese, é importante destacar que qualquer informação retida além de um minuto é, no geral, considerada memória de longo prazo. Nem Radvansky et al. (2022) e nem Corkin (2013/2018) fazem distinção entre memória de curto prazo e memória operacional, porque entendem que não há retenção em curto prazo sem foco de atenção na informação. É esse fato que permitia a H.M. reter informações por vários minutos, quando instruído a sustentá-la. Por outro lado, mudar o foco do assunto poderia fazê-lo esquecer a informação em até menos do que um minuto. Em termos neurofisiológicos, a persistência do disparo de neurônios pré-frontais e parietais para sustentar uma determinada informação em curto prazo já foi extensivamente demonstrada (Fuster, 2022), é bastante dependente da região dorsolateral do córtex pré-frontal (DLPFC, Brosnan & Wiegand, 2017) e possivelmente envolve circuitos inibitórios recorrentes do DLPFC (Kim & Sejnowski, 2021), uma microcircuitaria que é diferenciada no córtex pré-frontal humano (Loomba et al., 2022; Elston, 2007).

Os períodos delimitados por Radvansky et al. (2022) levantam um questionamento adicional: o que distingue a memória de longo prazo precoce da transitória? A evidência experimental aponta um fator crucial: o sono. Tononi e Cirelli (2003) desenvolveram a hipótese de homeostase sináptica (HHS), segundo a qual o sono seria útil para restabelecer um estado sináptico basal. A HHS sugere que alterações em sinapses que representariam traços de memória não relevantes formados ao longo do dia, seriam descartadas durante o sono. Nesse sentido, De Vivo et al. (2017) mostraram que durante o sono em torno de 80% das sinapses reduzem o seu tamanho, um processo que não acontece em animais mantidos forçadamente acordados, sugerindo que o sono é crucial para o processo de restabelecimento sináptico, e, possivelmente, para o esquecimento de traços de memória irrelevantes. O processo de consolidação, i.e., estabilização dos traços de memória formados (Rasch, & Born, 2013), aconteceria em maior medida para eventos com valor adaptativo, que permaneceriam diferenciados na rede neural (Gruber, Ritchey, Wang, Doss e Ranganath, 2016).

Além disso, Brunec et al. (2020) defendem que a atuação do hipocampo na consolidação e evocação de memórias é flexível e dinâmica em função do objetivo de extrair generalizações ou reportar experiências específicas. Essa distinção é crucial porque extrair generalizações pode estar associado à familiaridade – a sensação de que o fato ou evento aconteceu no passado, mas sem informações sobre as circunstâncias ou o contexto em que aconteceu. Por outro lado, reportar experiências específicas envolve evocação de uma memória, o que só é possível após aprendizagem efetiva, isto é, informação realmente ter sido consolidada no córtex cerebral (Cabeza, Ciaramelli, Olson, & Moscovitch, 2008). Em outras palavras, a memória de reconhecimento seria uma habilidade com dois componentes: evocação ou familiaridade (Song, Jeneson, & Squire, 2011). Essa distinção tem implicações consideráveis para a aprendizagem, como será discutido mais adiante. Antes disso, no entanto, é importante conhecer mais sobre a atenção, dado seu papel fundamental na retenção da informação em curto prazo.

## **Atenção**

A atenção é um conjunto de processos que compõe um sistema atencional (Fan et al., 2009) e inclui subcomponentes para (1) a obtenção e manutenção de um estado de alerta, (2) a orientação para

estímulos sensoriais e (3) o controle voluntário de respostas, promovido pela rede executiva de atenção (Fan, McCandliss, Sommer, Raz, & Posner, 2002). A rede executiva de atenção é inclusive reconhecida como uma das redes neurais em larga escala - responsáveis pelos processos complexos que compõem a cognição (Bressler & Menon, 2010). O conceito de redes ou assembleias neurais foi proposto na metade do século passado por Donald Hebb (1949) e o funcionamento de redes complexas, irrestritas a um único ponto do córtex cerebral, proposto por Luria (1973/1981). Redes em larga escala, no entanto, só foram caracterizadas no século 21, sendo conhecidas desde redes ativas durante o desengajamento do mundo externo (Raichle, MacLeod, Snyder, Powers, Gusnard, & Shulman, 2001; Raichle, 2015) até redes fundamentais para a cognição social (Maliske & Kanske, 2022). A existência de uma rede complexa para controle executivo da atenção sugere a relevância deste processo para adaptação ao ambiente.

Corbetta e Shulman (2002) descrevem dois sistemas cortico-corticais distintos para mobilização da atenção. Uma rede frontoparietal dorsal - envolvendo o polo ocular frontal (FEF, *frontal eye field*), o sulco intraparietal (IPS) e áreas adjacentes – que seria responsável pelo controle “de cima-para-baixo” (*top-down*) da atenção, de mobilização voluntária ou direcionada por objetivos (*goal-driven*). A segunda é a rede frontoparietal ventral – que envolve a junção temporoparietal (TPJ) (região posterior do sulco temporal superior e do giro temporal superior, em conjunto com a parte ventral do giro supramarginal) e o córtex frontal ventral, que inclui partes do giro frontal médio (MFG), do giro frontal inferior (IFG), o opérculo frontal e a ínsula anterior. Estas regiões são responsáveis pelo controle “de baixo-para-cima” (*bottom-up*) da atenção, de mobilização automática ou direcionada por estímulos (*stimulus-driven*). No conceito de redes em larga escala, a rede frontoparietal dorsal é indistinta da rede executiva de atenção e a rede frontoparietal ventral é similar, mas não idêntica à rede de saliência (Seeley et al., 2007; Menon, 2023).

Diferentemente do que é descrito e interpretado à partir dos rótulos *top-down* e *bottom-up*, no entanto, Corbetta, Patel e Shulman (2008) propõem a separação entre um sistema de orientação da atenção – que se ativa tanto por estímulos exógenos quanto pela necessidade de atender a objetivos internos – e um sistema de reorientação, a qual é provocada por estímulos. Essa distinção seria mais adequada para caracterização das redes frontoparietais dorsal e ventral, respectivamente. É importante também ressaltar que ambas se ativam não só para estímulos visuais, mas também auditivos e somestésicos (Corbetta et al., 2008). De forma aparentemente contraditória, Cabeza et al. (2008) reúnem evidências de que circuitos parietais dorsais respondem de forma mais ativa a estímulos que provocam a sensação de familiaridade, enquanto o processo de evocação de memórias esteja associado a maior ativação de circuitos ventrais. Uma solução para a aparente contradição, no entanto, é compreender o processo de evocação como uma consequência direta do estímulo externo oferecido, enquanto a sensação de familiaridade requer que o indivíduo exerça processos *top-down* na tentativa de encontrar o traço de memória correto, o que pode ser um desperdício de recurso executivo no momento de um teste formal.

Adicionalmente, Corbetta et al. (2008) descrevem como as redes atencionais interagem e supõe que as regiões dorsais (IPS e FEF) poderiam provocar supressão na rede ventral em momentos em que um alvo específico é buscado pelas suas características ou posição no espaço, dado que elas exibem alto nível de atividade em tarefas de busca. Mas eles não descartam que a fonte de sinais *top-down* seja o DLPFC e argumentam que, se o córtex pré-frontal é a fonte de sinal inibitório, a lesão desta região

deve provocar prejuízo no controle *top-down* da informação e redução do desempenho na presença de distratores. É exatamente isso que foi mostrado por Chao e Knight (1995) após lesão unilateral do DLPFC direito, mas não do hipocampo ou da TPJ. Interessantemente, Chao e Knight (1995) também mostram prejuízo no desempenho de pacientes com lesão do hipocampo somente na condição com distrator e para latências de resposta superior a 10s, evidenciando que a mudança de foco de atenção é suficiente para tirar o estímulo da memória de curto prazo, que somente pode ser evocada em indivíduos com hipocampo intacto. Portanto, esse achado suporta adicionalmente que a mudança do foco de atenção é suficiente para caracterizar a memória de longo prazo precoce (Radvansky et al., 2022), mesmo com intervalos menores do que um minuto. Em conjunto, estas evidências sustentam que a atenção é mais do que apenas um processo de seleção e possui íntima relação com a retenção de informação em curto prazo, essencial ao conceito de memória operacional (Baddeley, 2010; Cowan, 2022).

Recentemente, Sasin e Fougny (2021) mostraram que a utilização de estratégias *top-down* é mais eficiente do que estratégias *bottom-up* para a consolidação de memórias. Estes autores criaram um paradigma visual em que a mobilização da atenção provocada por um distrator saliente (DS), que piscava na tela em comparação a outros objetos estáticos, incluindo o alvo, foi comparada a um distrator relacionado em contexto (DRC), com cor semelhante ao alvo, mas com a mesma saliência. Parte das tentativas eram neutras, isto é, sem distratores que provocassem mobilização adicional da atenção. Os autores consideraram que o DS provocou mecanismos exógenos e, o DRC, mecanismos endógenos, dado que ele possui cor semelhante à expectativa do alvo buscado pelo participante. Os resultados mostraram que o DRS é mais competente em provocar consolidação de memórias de longo prazo em relação ao DS, ainda que ambos tenham menor eficiência do que o alvo. A investigação de traços de memória dos distratores era inesperada aos participantes – não fazia parte das instruções – e foi entremeadada à tarefa de busca visual. Ainda que seja discutível se DS e DRC de fato envolvem mecanismos unicamente exógenos e endógenos, é indiscutível que o DRC se alinha com os objetivos e expectativas do indivíduo, portanto com mecanismos *top-down*, sugerindo que essas estratégias podem ser mais eficientes do que apenas depender da saliência dos estímulos para consolidar memórias. Portanto, esforço mental ativo de busca e associação de informações durante o estudo deve provocar repercussões positivas para a aprendizagem. Por outro lado, dividir a atenção não é um processo eficiente e deve ser evitado, pois não há sujeitos verdadeiramente capazes de funcionar de forma multitarefa (Ophir, Nass, & Wagner, 2009). Adicionalmente, é essencial destacar que os sistemas de atenção são susceptíveis à cegueira por desatenção (*inattentive blindness*, Lamme, 2003). Esse fenômeno refere-se à situação em que o foco de atenção em uma tarefa ou estímulo específico pode prejudicar o processamento de novos estímulos, tornando improvável seu relato posterior. Consequentemente, em ambientes educacionais como aulas e demonstrações, desviar o foco para estímulos distrativos poderia prejudicar a aprendizagem.

Nesse contexto, May e Elder (2008) defendem que promover a autorregulação de estudantes com relação ao uso multitarefa de mídias deve ser um esforço para aperfeiçoar o desempenho acadêmico. Além disso, se a manutenção da informação em curto prazo promove traços de memória e o hipocampo consolida e evoca memórias de forma dinâmica e flexível, como já apontado, misturar assuntos alheios aos conteúdos de interesse durante o estudar facilita a criação de falsas memórias e prejudica o acesso à informação no momento oportuno para o seu uso (Schacter, 2022), além de também poder eliciar

sensação de familiaridade com elementos alheios aos tópicos de estudo. Felizmente, alguns países europeus já iniciaram movimentos no sentido de proibir o uso de *smartphones* em salas de aula (Carroll, 2023; Iolov, 2023; Armstrong, 2023). Nesse sentido, Jordan Watson faz um excelente ponto em argumentar que antigamente videogames, jogos, livros de pintura e álbum de fotos não eram atividades permitidas dentro da sala de aula (How to DAD, 2023), que são apenas alguns exemplos de distrações presentes nos telefones modernos, permitidos em sala apenas porque se tornaram um elemento essencial das nossas vidas (Barros, Oliveira, Maia, Fernandes, & Almodin, 2021). Ainda que eles tenham provocado vantagens no acesso instantâneo à informação, seu uso não pode ser dissociado de estratégias de autorregulação.

## Emoções

Emoções são estados ou processos psicológicos que funcionam no gerenciamento de objetivos (Oatley, 1999). São eliciadas por estímulos internos ou externos, provocam em consequência respostas fisiológicas, cognitivas e comportamentais e interferem com o processo de consolidação de memórias. Nesse sentido, Immordino-Yang e Damasio (2007) são enfáticos em defender que as emoções não podem ser descartadas no processo de aprendizagem. Para testar a hipótese de associação entre recompensa e maior eficácia de consolidação de memórias, Gruber et al. (2016) criaram um paradigma no qual os sujeitos deveriam memorizar objetos neutros em dois contextos distintos: uma de baixa recompensa e outra de alta recompensa, além de monitorarem os participantes por meio de imageamento funcional por ressonância magnética (fMRI), que permite inferir as regiões atividades durante cada tentativa do paradigma. As regiões neurais de interesse eram o hipocampo e o complexo substância negra/área tegmentar ventral (SN/VTA) do mesencéfalo, uma região com alta concentração de neurônios produtores de dopamina, um neurotransmissor associado à sinalização da recompensa e do prazer. Os resultados mostraram maior atividade do hipocampo nas tentativas com resposta correta ao teste de memória, em relação às incorretas, como esperado, e diferenças no padrão de atividade do hipocampo nas tentativas com contexto de alta recompensa. Além disso, a fMRI mostrou maior conectividade funcional entre SN/VTA e hipocampo nas tentativas com alta recompensa, além de maior atividade do hipocampo após estas tentativas. Em conjunto, estes resultados sugerem que a atividade neural após a estimulação que leva ao aprendizado prioriza os eventos que estão associados a alguma recompensa, favorecendo a consolidação destes eventos.

Uma evidência anedótica em favor da associação entre emoções e memórias é o fato de nos lembrarmos muito mais de eventos positivos ou negativos da vida, em relação àqueles corriqueiros, como o almoço comum do dia a dia ou o próprio conteúdo das aulas diárias da educação formal. O trabalho de Gruber et al. (2016) pode ser usado para explicar justamente esses eventos, extrapolado o raciocínio para eventos negativos, mas com envolvimento da amígdala (Kim, Lee, Han, & Packard, 2001; Morel et al., 2022) e contribuição adicional dos níveis de cortisol (Schilling et al., 2013). No contexto escolar, professores sabem disso por amostragem! É comum testemunhar estudantes associarem uma determinada prova a intenso sofrimento, mas é a prova que estimula emoções e não seu conteúdo. Logo, só a prova é lembrada.

A memorização diferencial de eventos recompensadores ou aversivos oferece vantagens claras para sobrevivência: ambos desempenham papéis fundamentais em garantir melhor adaptação ao ambiente. Schultz (2016) defende que as recompensas possuem três funções: (1) atuar como reforço positivo para induzir a aprendizagem; (2) produzir comportamentos direcionados a objetivos e promover escolhas econômicas – portanto, interferindo com a tomada de decisão; e (3) provocar sensações subjetivas de prazer e desejo. Para tanto, os circuitos dopaminérgicos respondem de forma fásica em dois momentos subsequentes: primeiro na detecção de estímulos gerais, isto é, associados a recompensas, expectativa de recompensa, não recompensadores e até aversivos e, num segundo momento, de forma mais intensa somente na presença de recompensa ou expectativa de recompensa (Schultz, 2016). Em essência, os circuitos dopaminérgicos funcionam como um sistema de predição de erros em relação à expectativa de recompensa (Schultz, Dayan, & Montague, 1997). Dessa forma, o sistema responde fasicamente a recompensas não-previstas e à expectativa da recompensa (i.e., a pistas de um evento recompensador iminente), mas não a recompensas que aparecem no momento e intensidade esperados. Além disso, o sistema reduz seu nível de atividade para sinalizar ausência de recompensa no momento esperado em função de aprendizado anterior, literalmente funcionando como um correlato neurobiológico da frustração. Baseado em toda essa especificidade, Schultz (2010) defende que o sistema dopaminérgico opera com velocidade e precisão, promovendo processamento e resposta eficientes a informações relacionadas com recompensas.

Por outro lado, mesmo em situações altamente recompensadoras, a dopamina não é o único determinante do comportamento, mas o córtex pré-frontal também tem circuitos que atuam na tomada de decisão. Em especial, a região orbitofrontal (OFC) atua de forma inibitória (Fuster, 2017) e promove importante controle de impulsos (Damasio, Grabowski, Frank, Galaburda, & Damasio, 1994). Uma atuação fundamental nesse processo é garantir a escolha da melhor recompensa. Mischel e Ebbensen (1970) realizaram um elegante experimento para avaliar a capacidade de crianças entre 3 e 5 anos inibirem o acesso imediato a uma recompensa para receber, com atraso, uma recompensa igual ou melhor. Os resultados mostraram que as crianças são mais capazes de esperar quando a recompensa com atraso esperada é melhor, embora nem todas esperem. Esse dado, inclusive, alimentou um seguimento com as mesmas crianças 40 anos depois. Casey et al. (2011) testaram os mesmos sujeitos do trabalho de Mischel e Ebbensen (1970) por meio de fMRI e dividiram os participantes em função da capacidade de atraso por uma recompensa em: grandes retardadores e pequenos retardadores. Os resultados mostraram que os participantes com alta capacidade de espera possuem maior atividade no giro frontal inferior, parte do córtex orbitofrontal, inibindo a recompensa imediata. Já os participantes com menor capacidade de atraso, mostraram maior atividade no estriado ventral, a região alvo da dopamina produzida no sistema SN/VTA.

Em essência, o córtex orbitofrontal, além do DLPFC já citado, é parte de um conjunto de estruturas responsáveis pelas funções executivas, i.e., o planejamento e a tomada de decisões com relação à informação em curso (Friedman & Miyake, 2017). No contexto da educação, o *timing* na aplicação de recompensas precisa ser corretamente ajustado em função do nível educacional e da competência individual de recursos executivos para evitar a frustração e desestimular o estudo. Mas a tarefa individual do estudante é gerenciar as próprias expectativas para o bom andamento do plano de estudos traçado

que, se bem encadeado, deve funcionar inclusive como uma fonte de motivação. Adicionalmente, é importante ressaltar que esses processos não devem atuar somente em associação a comportamentos explícitos. Hesslow (2002) defende que a interferência emocional deve reforçar ou punir não só os produtos do comportamento, mas até mesmo as ações em planejamento, essencialmente direcionando o comportamento futuro. Esse tipo de interferência deve ser determinante para aspectos que mobilizam o comportamento, isto é, para a motivação. É igualmente importante considerar que o processamento emocional é altamente automatizado e não-solicitado (Ekman & Cordaro, 2011). Dessa forma, é impossível amparar ativamente processos de ensino como a educação formal no surgimento de emoções, mas é igualmente claro que a aprendizagem será mais eficiente num ambiente seguro e agradável, que evoque emoções positivas. Vale ressaltar que até mesmo a expressão de alegria no rosto é processada como recompensadora em humanos (Hare, Tottenham, Davidson, Glover, & Casey, 2005), um dado que não deve surpreender, uma vez que somos uma espécie altamente social (Adolphs, 2003; Maliske, & Kanske, 2022). Em última instância, parece importante que cada estudante possa encontrar seus próprios reforçadores e a própria motivação, o que trará valiosas contribuições para menor sofrimento e ansiedade com o processo de estudar.

### **Achados das neurociências no contexto da educação**

Apesar dos tópicos anteriores já terem antecipado implicações da memória, atenção e emoções para o contexto educacional, é importante adicionar que há evidências de que o uso de papel seja superior a telas (Umejima, Ibaraki, Yamazaki, & Sakai, 2021) e a escrita melhor do que a digitação (Ose Askvi, van der Weel, & van der Meer, 2020) para a consolidação de memórias. Estes resultados sugerem que aspectos básicos associados ao estudo, como utilizar papel e caneta, recrutam maior uso de funções executivas para processamento e síntese das informações antes da anotação, além de beneficiar-se de pistas espaciais para formar os traços de memória, o que favorece a posterior evocação das informações. Estes achados são coerentes com o processamento necessário ao arquivamento de informações, como será discutido a seguir.

### **IMPLICAÇÕES DAS NEUROCIÊNCIAS PARA O ESTUDAR**

O fluxo de informações pelos circuitos cerebrais é organizado de regiões sensoperceptuais, organizadas por modalidade sensorial, para regiões as pré-frontais que gerenciam as funções executivas, o que inclui o planejamento e a tomada de decisão com relação a informações em curso, uma sequência de eventos chamada ciclo percepção-ação (Fuster, 2017). Nesse sentido, Fuster (2022) defende que a memória operacional é a ativação temporária de memória para sistemas perceptuais, executivos ou de recompensa no cumprimento de um objetivo. Em outras palavras, a ativação de recursos pré-frontais está associada com a consciência do presente momento e a organização temporal do comportamento (Hesslow, 2002; Kolb, 2007; Boly et al., 2011), uma dinâmica que é altamente influenciada pela saliência emocional do estímulo no ambiente (Gruber et al., 2016; Fuster, 2017). Por fim, a exposição repetida a informações específicas fortalece traços de memória e reduz o esquecimento naturalmente associado com

o processo de consolidação de informações (Radvansky et al., 2022). Em conjunto, estes achados da neurociência têm implicações diretas para a eficiência das técnicas de estudo avaliadas por Dunlosky et al. (2013).

### **Técnicas com eficácia baixa**

Dunlosky et al. (2013) concluíram que as estratégias de estudo de grifar textos, fazer uma leitura simples, usar palavras-chave ou imagens mentais e até mesmo fazer resumos tem eficácia baixa para aprendizagem. É relevante notar que grifar textos foi a única estratégia que recebeu classificações negativas na avaliação feita pelos autores, tanto para os contextos educacionais quanto para o critério da tarefa, pois há evidências de que grifar textos provoca desempenho pior em estudantes que retomam os estudos nos textos grifados. Os autores propõem que estes resultados podem estar relacionados a um efeito de isolamento provocado pelas palavras grifadas, que seriam mais lembradas do que outros conceitos no texto, que também podem ser essenciais à compreensão do conteúdo. Grifar textos provavelmente produz traços de memória sem conexões entre si, mais difíceis de serem associados para a resolução de questões que necessitam de inferência. Técnicas de usar palavras-chave ou imagens mentais provavelmente envolvem problemas semelhantes de fragmentação do conteúdo e os autores até ressaltam que é possível que os estudantes se lembrem das palavras-chave ou siglas desenvolvidas ao longo dos estudos, mas não do conceito que deveria ser evocado. Apesar disso, essas estratégias não chegam a ganhar classificações negativas, mas apenas inconclusivas ou mistas (qualificadas) com relação a sua validade para aprendizagem. Ainda, o processo de evocação de memórias poderia provocar interferências entre assuntos não adequadamente relacionados durante o processo de consolidação (Brunec et al., 2020).

Esse tipo de interferência também é possível com estratégias como a releitura. Uma única releitura, com uma alta carga de informações e conceitos para serem arquivados, está largamente sujeita ao esquecimento se o processo de evocação for feito após o sono (Tononi & Cirelli, 2014). É importante lembrar que muito do conhecimento sobre a curva de esquecimento envolve testes em laboratório com listas de sílabas sem sentido ou palavras, um conteúdo menos denso do que o conteúdo formal da educação, em qualquer área do conhecimento. Dessa forma, as estimativas geradas por esses trabalhos devem ser consideradas otimistas em relação à aquisição de conteúdo real, que não deve ser superior a 20% após sono (Vivo et al., 2017), mas isso ainda precisa ser devidamente testado, como defendido por Radvansky et al. (2022). É notável que a releitura de anotações de aula seja a estratégia mais utilizada por estudantes, que avaliam esta como mais efetiva (Blasiman, Dunlosky, & Rawson, 2017). Estes autores concluem que os estudantes de graduação avaliados têm ótimas intenções de estudo, almejando estratégias com alta eficácia como fazer exercícios, mas falham ao deixar os estudos para a véspera das provas e, pior ainda, com base em estratégias menos eficientes. Uma hipótese interessante é testar se essas estratégias de estudo provocam mais à sensação de familiaridade ou evocação real da informação, no contexto da memória de reconhecimento (Song, Jeneson, & Squire, 2011). Dada a baixa eficácia dessas técnicas, é mais provável esperar apenas processos de familiaridade.

Por fim, fazer resumos é uma estratégia utilizada por cerca de 50% dos estudantes (Blasiman et al., 2017), embora seja uma das estratégias mais investigadas (Dunlosky et al., 2013). A classificação

como baixa envolve a estratégia depender de habilidade específica para ser bem executada e, portanto, ter aplicabilidade baixa no contexto do ensino básico. Vale lembrar que a avaliação realizada por Dunlosky et al. (2013) considerou a generalização das técnicas em quatro categorias de variáveis, incluindo o contexto educacional. Portanto, a evidência empírica subsidia a classificação proposta. Uma crítica adicional é que muitos dos trabalhos experimentais citados pelos autores são das décadas de 80 e 90 (século 20) e, portanto, estão inseridos num contexto muito diferente do mundo digitalizado atual, com informação de fácil acesso na palma da mão, na tela de *smartphones* (Barros et al., 2021; Schacter, 2022). Dessa forma, é necessário replicar alguns desses achados para compreender a eficácia atual de algumas dessas técnicas.

Vale lembrar que, enquanto uma habilidade, saber fazer um resumo adequado envolve memória implícita, adquirida por treino repetitivo (Corkin, 2002; Helene & Xavier, 2003; Liu et al., 2023), o que descarta o uso repentino dessa estratégia com sucesso. Além disso, a síntese mental necessária a essa tarefa depende de pleno desenvolvimento de funções executivas, que é mais tardio e acompanha a maturação do córtex pré-frontal e da substância branca subjacente, podendo chegar próximo aos 25 anos (Whitaker et al., 2016; Bethlehem et al., 2022). Dessa forma, Gunzenhauser & Nückles (2021) ressaltam a importância do treinamento e engajamento das funções executivas no processo de aprendizagem, pelo menos em crianças. Por outro lado, há evidências de que a memória operacional – componente das funções executivas (Friedman & Miyake, 2017) – seja dependente de recursos cognitivos gerais, como a inteligência fluída (Gathercole, Dunning, Holmes e Norris, 2016) e de que a rede executiva de atenção e a flexibilidade cognitiva sejam fatores de influência importantes para a inteligência fluída, tornando indiscutível que estes processos estejam todos inter-relacionados.

Nesse sentido, promover o desenvolvimento dessa habilidade durante todo o período de educação básica pode ser essencial para a competência de fazer resumos, que resulte em aprendizagem efetiva em contextos diversos da educação formal. Blasiman et al. (2017) mostram que muitos estudantes se apoiam em anotações próprias sobre o conteúdo como a principal estratégia de estudo. Fazer a leitura de última hora destas anotações, ou mesmo estudar por toda a madrugada e ir para as provas sem dormir, apoiando-se em circuitos de memória de longo prazo precoce, traz aos estudantes senso de familiaridade com o conteúdo e sensação de que já dominaram o assunto, reduzindo a carga de estudos. De fato, Blasiman et al. (2017) mostraram que a intenção de estudos nas semanas que antecedem as provas é duas vezes maior do que o estudo efetivamente realizado. Um fator adicional de relevância é a qualidade das anotações utilizadas pelos estudantes. Se essas leituras envolvem resumos que não atingem a essência do texto original, os problemas associados à estratégia de leitura única ou aspectos negativos semelhantes àqueles encontrados em textos grifados poderiam contribuir para a baixa eficácia dos resumos.

Uma nota anedótica, baseada na experiência pessoal como professor de graduação, é que muitos estudantes trazem a transcrição literal do texto presente em *slides* de aula, como um resumo construído. Essa estratégia é equivocada tanto pela ausência de processamento cognitivo adequado para construção do resumo, isto é, do envolvimento de raciocínio e associação de conceitos em circuitos executivos, quanto por dispensar uma parcela importante do conteúdo original, presente nos livros-texto e artigos citados. Se esse achado envolve parcela considerável dos estudantes, e o nível de eficácia obtido

por esse tipo de estratégia, é uma questão que merece investigação. Infelizmente, a qualidade das notas e resumos construídos pelos estudantes é um dado não investigado por Blasiman et al. (2017).

### **Técnicas com eficácia moderada**

As estratégias de estudo que envolvem a prática intercalada, interrogação elaborativa e auto explicação foram classificadas em eficácia moderada (Dunlosky et al., 2013). Um diferencial imediato dessas estratégias em relação às anteriores é que todas elas promovem maior envolvimento de recursos pré-frontais, para a síntese e associação dos conceitos apreendidos, seja diretamente (interrogação elaborativa e auto explicação) ou indiretamente, pela necessidade de organização temporal dos materiais ou assuntos em estudo (prática intercalada). As implicações desse esforço mental são claras: há mobilização *top-down* da atenção para gerenciamento da informação (Sasin & Fougne, 2021), ocorre ativação recorrente dos traços de memória sendo formados (Rasch, & Born, 2013, Fuster, 2022; Kwak & Curtis, 2022) e interação do conceito em estudo com experiências anteriores, o que resulta em associação mais significativa (Brunec et al., 2020), com maior chance de evocação real, não apenas familiaridade.

Apesar disso, estas estratégias possuem limitações para a generalização em todas as categorias de avaliação. Primeiro, a interrogação elaborativa possui limitações com relação ao tamanho dos materiais a serem estudados, dificultando a aprendizagem de conteúdos mais longos ou complexos. Em segundo lugar, a estratégia é pouco aplicável a estudantes dos anos iniciais do ensino primário, que ainda não possuem maturidade cognitiva para a tarefa (Bethlehem et al., 2022), que são limitações parcialmente resolvidas pela técnica de auto explicação, isso porque a evidência existente não é clara com relação à dependência dessa estratégia no conhecimento prévio em como utilizá-la ou da durabilidade dos seus efeitos em longo prazo. A prática intercalada, por sua vez, promove alguns dos mesmos benefícios que as estratégias classificadas em eficácia alta, mas possui limitações ao misturar vários materiais distintos numa mesma sessão de estudos, possivelmente criando confusão entre os assuntos e falsas memórias, o que o torna bastante dependente de boas estratégias de autorregulação (Stanton, Sebesta, & Dunlosky, 2021). Recentemente, Foster, Mueller, Dunlosky e Finkenthal (2023) mostraram que estratégias de autorregulação podem ser eficazes para ganhos em aprendizagem, especialmente se a avaliação de previsão de desempenho acontecer após um período de atraso. Este intervalo gera esquecimento de parte dos traços de memória e, portanto, garante previsão mais realista sobre a aprendizagem efetivamente conquistada.

Entretanto, ainda é incerto se a prática intercalada pode ser generalizada para todo tipo de material e área do conhecimento. Foster, Mueller, Was, Rawson, & Dunlosky (2019) mostraram que a prática intercalada é efetiva para o ensino de matemática, especificamente no cálculo de volumes de quatro figuras geométricas, que foram a estratégia experimental investigada. Os autores compararam uma estratégia de ensino em bloco, em que quatro exercícios de uma determinada figura eram resolvidos antes da próxima forma geométrica, com duas formas de prática intercalada: um método padrão em que cada exercício trazia uma forma geometricamente a cada tentativa, sempre na mesma ordem, e um método “remoto”, no qual os cálculos de volume eram intercalados com problemas básicos de matemática, não

relacionados à geometria, de forma a distribuir a prática de cálculo de volumes, o problema principal em questão. Interessantemente, os resultados mostram que tanto a prática intercalada padrão é mais efetiva do que a prática em bloco, quanto o método remoto é mais efetivo do que o método padrão, reforçando que a prática distribuída é estratégia com eficácia alta para aprendizagem. Dessa forma, parece importante expandir investigações futuras no sentido de compreender se a prática intercalada generaliza para outras áreas do conhecimento especialmente em conjunto com a prática distribuída.

### **Técnicas com eficácia alta**

Como mencionado anteriormente, Foster et al. (2019) fizeram uma excelente demonstração de que a prática distribuída promove benefícios adicionais a outras estratégias, no caso da investigação dos autores, à prática intercalada. A prática distribuída e os testes práticos foram as únicas estratégias classificadas em eficácia alta por Dunlosky et al. (2013). Novamente, a compreensão sobre o funcionamento do córtex pré-frontal e do hipocampo torna a explicação fácil: essas técnicas não só promovem os mesmos benefícios executivos já descritos para as técnicas com eficácia moderada, como também promovem constantes novos acessos ao material de estudo, permitindo gradual aquisição dos conceitos, independente da complexidade, e correção dos traços de memória já formados a cada novo contato com o material, dado que toda evocação de informação promove novo processo de consolidação (Squire et al., 2015). Paralelamente, esses autores também relatam que a aquisição de informações incompatível com conhecimento prévio promove interferência e perturbação dos traços de memória anteriores. Uma solução para esses conflitos é justamente a consolidação gradual, ou espaçada em diversas aproximações, do conteúdo a ser estudado.

Parece importante também ressaltar que o processo de reflexão sobre a informação torna-se inevitável a partir desses constantes novos acessos à informação. Estudar novos conceitos promove acesso a conhecimento prévio, mesmo que básico, de forma que novos processos de consolidação provocam o fortalecimento e a integração em redes prévias de conhecimento (Rasch, & Born, 2013). Além disso, o resultado de trabalhos que evidenciam na prática a mudança de redes neurais em função de aprendizagem, se puderem ser diretamente extrapolados para humanos, sugerem que a eficácia de todo processo de aprendizagem ao longo de um dia é sempre baixa, cerca de 20% (De Vivo et al., 2017), sem controle específico sobre quais eventos e conhecimentos adquiridos no dia anterior serão os traços de memória efetivamente preservados. Nesse sentido, reativar novamente as redes neurais que se deseja preservar parece crucial para promover algum controle sobre as informações que serão preservadas na rede. Alterações em redes sinápticas por processos de aprendizagem já haviam sido mostradas anteriormente por Hayashi-Takagi et al. (2015), o entanto sem uma medida efetiva da proporção de mudança de um dia para o outro.

A prática distribuída e os testes práticos, uma vez que envolvam ao menos a resolução de diversos exercícios, proporcionam um benefício adicional aos circuitos de memória: a repetição necessária à aquisição de memória implícitas. Muito do que é parte de currículos escolares em diversos níveis de ensino englobam aprendizagem implícita. Exemplos óbvios são a motricidade necessária à escrita (Ose Askvik et al., 2020) e a sintaxe da linguagem (Ullman, 2004) na educação primária, as

habilidades matemáticas diversas (Menon, 2016) no ensino secundário e habilidades motoras específicas (Corkin, 2002) da formação profissional na educação superior, por exemplo necessárias a procedimentos em saúde. Neil deGrasse Tyson ressalta esse princípio ao enfatizar que o objetivo de parte do conteúdo escolar não é o aprendizado do conteúdo específico, mas sim das habilidades de resolução de problema associados com aquele treino (National Geographic, 2015). Dessa forma, é fundamental salientar que, embora estratégias de última hora possam suportar traços de memória que garantam aprovação numa prova teórica, a aprendizagem implícita ocorre somente mediante a repetição e pode ser avaliada somente pela demonstração do desempenho (Squire, 2009), o que torna a avaliação de competências práticas fundamental para a verificação da aprendizagem de habilidades. Adicionalmente, o treinamento em contexto educacional que é significativamente diferente do contexto real prático, pode produzir dúvidas quanto à efetiva aquisição de competências no treinamento e da capacidade de desempenho (Roberts et al., 2021).

É bastante interessante que na investigação realizada por Blasiman et al. (2017), a resolução de testes práticos é a quarta estratégia mais pretendida pelos estudantes. No entanto, é a que menos foi efetivamente implementada, confirmando a conclusão dos autores de boas intenções e execução falha. Ao mesmo tempo, os resultados também confirmam a necessidade de levar as informações aqui presentes aos estudantes: em média, os testes práticos foram considerados apenas 50% eficientes, abaixo de estratégias menos eficazes como ler anotações, fazer grifos ou elaborar resumos, estratégias que tiveram a baixa eficácia devidamente esclarecida anteriormente, com base no funcionamento de circuitos de atenção e memória. As limitações anteriormente descritas são inexistentes nestas estratégias, seja com relação à idade dos estudantes, ao contexto educacional ou aos materiais envolvidos, pelo contrário, Dunlosky et al. (2013) ressaltam que elas não requerem muito tempo para aplicação – dado que o total de estudo em cada sessão poderá ser menor do que estudar todo o conteúdo na véspera da prova – e elas podem ser implementadas com mínimo treino aos estudantes, afinal são práticas usuais no contexto escolar formal, dentro de sala de aula. Dessa forma, ambas as técnicas são as únicas que se classificam como positivas em todas as categorias de avaliação.

Por fim, é importante que novas estratégias de estudo continuem a ser pesquisadas, especialmente aquelas que mais enfatizem os mecanismos pelos quais nosso cérebro arquiva informações. Nesse sentido, o Método de Aprendizagem Feynman parece uma estratégia promissora, mas que ainda não foi testada por meio de avaliações sistematizadas (Wenyan, Tiandong & Sen, 2021; Feng et al., 2022). Suas particularidades envolvem poder ser aplicado a qualquer tipo de material, com estudantes de todo nível educacional e ser facilmente adaptável para as condições de aprendizagem e as tarefas necessárias. Além disso, promove contato social, o que trará impactos para as habilidades socioemocionais (Pareto, Ekström, & Serholt, 2022).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente artigo buscou esclarecer o motivo pelo qual estratégias comuns de estudo resultam em diferentes eficácias na aprendizagem, com base no conhecimento das neurociências consolidado neste início do século 21. Infelizmente, a evidência empírica também demonstra que as

estratégias de menor eficácia são as mais utilizadas pelos estudantes. Os motivos para a escolha devem residir na persistência e disciplina necessárias ao estudo regular necessário às estratégias de alta eficácia.

Os mecanismos de atenção e do processo de consolidação da memória para aprendizagem duradoura são dependentes de envolvimento ativo com o tópico estudado e, em especial para conteúdos extensos, de exposição repetida aos conceitos almejados. Uma estratégia de estudo que envolva prática regular e persistente é a única solução para a consolidação de sistemas, um processo que pode levar anos para acontecer. A evidência encontrada nas neurociências é que não há outra forma de se aprender efetivamente, isto é, se o objetivo final for além de obter pontuação numa prova com conteúdo e horário específico. Os traços de memória formados na exposição inicial a um determinado conteúdo são efetivos para responder problemas de baixa complexidade, mas serão descartados após período de sono se não retomados ou úteis para outros fins. Por outro lado, a aprendizagem de habilidades psicomotoras – as memórias implícitas – que podem ser fundamentais para a prática profissional, depende de repetição e somente podem ser adquiridas pela exposição repetida.

Combinar estratégias que mobilizam adequadamente recursos neurais deve elevar a eficácia do processo de aprendizagem em longo prazo, principalmente por provocar acessos persistentes ao conteúdo. É inevitável, no entanto, que cada momento tenha um enfoque específico, o que muda não só o ponto de vista sobre um mesmo tópico, mas também reorganiza de forma eficiente a rede neural associada à informação. Mais do que isso, é fundamental que qualquer estratégia dependa de características essenciais para toda e qualquer técnica: motivação para execução individual e persistência até compreensão plena. Se ainda não há no estudante entendimento da recompensa provocada pelo conhecimento, não há dúvida de que esse é o primeiro aprendizado necessário para o desenvolvimento de uma rotina para o estudar.

## REFERÊNCIAS

- Adolphs, R. (2003). Cognitive neuroscience of human social behaviour. *Nature reviews. Neuroscience*, 4(3), 165–178. <https://doi.org/10.1038/nrn1056>.
- Ansari, D., & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: education and cognitive neuroscience. *Trends in cognitive sciences*, 10(4), 146–151. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.02.007>.
- Armstrong, K. (2023, July 5). *Netherlands*: Phone ban announced to stop school disruptions. BBC News: Europe. <https://www.bbc.com/news/world-europe-66107027>.
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current biology: CB*, 20(4), R136–R140. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014>.
- Barros, V. F. S., Oliveira, R. A. S. G., Maia, R. B., Fernandes, N., & Almodin, E. M.. (2021). Effects of the excessive use of electronic screens on vision and emotional state. *Revista Brasileira De Oftalmologia*, 80(5), e0046. <https://doi.org/10.37039/1982.8551.20210046>.
- Bethlehem, R. A. I., Seidlitz, J., White, S. R., Vogel, J. W., Anderson, K. M., Adamson, C., Adler, S., Alexopoulos, G. S., Anagnostou, E., Arces-Gonzalez, A., Astle, D. E., Auyeung, B., Ayub, M., Bae, J., Ball, G., Baron-Cohen, S., Beare, R., Bedford, S. A., Benegal, V., Beyer, F., ... Alexander-Bloch, A. F. (2022). Brain charts for the human lifespan. *Nature*, 604(7906), 525–533. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04554-y>.
- Blasiman, R. N., Dunlosky, J., & Rawson, K. A. (2017). The what, how much, and when of study strategies: comparing intended versus actual study behaviour. *Memory* (Hove, England), 25(6), 784–792. <https://doi.org/10.1080/09658211.2016.1221974>.
- Boly, M., Garrido, M. I., Gosseries, O., Bruno, M. A., Boveroux, P., Schnakers, C., Massimini, M., Litvak, V., Laureys, S., & Friston, K. (2011). Preserved feedforward but impaired top-down processes in the vegetative state. *Science* (New York, N.Y.), 332(6031), 858–862. <https://doi.org/10.1126/science.1202043>.
- Bressler, S. L., & Menon, V. (2010). Large-scale brain networks in cognition: emerging methods and principles. *Trends in cognitive sciences*, 14(6), 277–290. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.04.004>.
- Brosnan, M. B., & Wiegand, I. (2017). The Dorsolateral Prefrontal Cortex, a Dynamic Cortical Area to Enhance Top-Down Attentional Control. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 37(13), 3445–3446. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0136-17.2017>.

Brunec, I. K., Robin, J., Olsen, R. K., Moscovitch, M., & Barense, M. D. (2020). Integration and differentiation of hippocampal memory traces. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 118, 196–208. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.07.024>.

Cabeza, R., Ciaramelli, E., Olson, I. R., & Moscovitch, M. (2008). The parietal cortex and episodic memory: an attentional account. *Nature reviews. Neuroscience*, 9(8), 613–625. <https://doi.org/10.1038/nrn2459>.

Carroll, R. (2023, June 3). *Much easier to say no'*: Irish town unites in smartphone ban for young children. The Guardian. <https://www.theguardian.com/technology/2023/jun/03/much-easier-to-say-no-irish-town-unites-in-smartphone-ban-for-young-children>.

Carter, J.A. and Kotzee, B. (2015) *Epistemology of Education*. Oxford Bibliographies. <https://doi.org/10.1093/OBO/9780195396577-0292>.

Casey, B. J., Somerville, L. H., Gotlib, I. H., Ayduk, O., Franklin, N. T., Askren, M. K., Jonides, J., Berman, M. G., Wilson, N. L., Teslovich, T., Glover, G., Zayas, V., Mischel, W., & Shoda, Y. (2011). Behavioral and neural correlates of delay of gratification 40 years later. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(36), 14998–15003. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108561108>.

Chao, L. L., & Knight, R. T. (1995). Human prefrontal lesions increase distractibility to irrelevant sensory inputs. *Neuroreport*, 6(12), 1605–1610. <https://doi.org/10.1097/00001756-199508000-00005>.

Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature reviews. Neuroscience*, 3(3), 201–215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>.

Corbetta, M., Patel, G., & Shulman, G. L. (2008). The reorienting system of the human brain: from environment to theory of mind. *Neuron*, 58(3), 306–324. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.04.017>.

Corkin, S. (2018). *Presente permanente: A história de Henry Molaison e de como o estudo de seu cérebro revolucionou a ciência*. Editora Record. (Trabalho original publicado em 2013).

Corkin S. (2002). What's new with the amnesic patient H.M.?. *Nature reviews. Neuroscience*, 3(2), 153–160. <https://doi.org/10.1038/nrn726>.

Cowan, N. (2022). Working memory development: A 50-year assessment of research and underlying theories. *Cognition*, 224, 105075. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2022.105075>.

Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A. M., & Damasio, A. R. (1994). The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science* (New York, N.Y.), 264(5162), 1102–1105. <https://doi.org/10.1126/science.8178168>.

De Vivo, L., Bellesi, M., Marshall, W., Bushong, E. A., Ellisman, M. H., Tononi, G., & Cirelli, C. (2017). Ultrastructural evidence for synaptic scaling across the wake/sleep cycle. *Science* (New York, N.Y.), 355(6324), 507–510. <https://doi.org/10.1126/science.aah5982>.

Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E. J., Nathan, M. J., & Willingham, D. T. (2013). Improving Students' Learning With Effective Learning Techniques: Promising Directions From Cognitive and Educational Psychology. *Psychological science in the public interest*, 14(1), 4–58. <https://doi.org/10.1177/1529100612453266>.

Ekman, P., & Cordaro, D. (2011). What is Meant by Calling Emotions Basic. *Emotion Review*, 3(4), 364–370. <https://doi.org/10.1177/1754073911410740>.

Elston, G. N. (2007). Specialization of the neocortical pyramidal cell during primate evolution. In J. H. Kaas (Ed.) *Evolution of Nervous Systems*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. v. 4 pp. 191-242. <https://doi.org/10.1016/B0-12-370878-8/00164-6>.

Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of cognitive neuroscience*, 14(3), 340–347. <https://doi.org/10.1162/089892902317361886>.

Fan, J., Gu, X., Guise, K. G., Liu, X., Fossella, J., Wang, H., & Posner, M. I. (2009). Testing the behavioral interaction and integration of attentional networks. *Brain and cognition*, 70(2), 209–220. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2009.02.002>.

Feng, Z., Chu, C., Zhu, D., Ji, N., Cui, J., & Huang, Z. (2022). Investigation of intervention methods based on different leading roles in family regarding child road safety education: An experimental study. *Accident; analysis and prevention*, 178, 106874. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106874>.

Foster, N. L., Mueller, M. L., Dunlosky, J., & Finkenthal, L. (2023). What is the impact of interleaving practice and delaying judgments on the accuracy of category-learning judgments? *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 29(2), 374–385. <https://doi.org/10.1037/xap0000444>.

Foster, N. L., Mueller, M. L., Was, C., Rawson, K. A., & Dunlosky, J. (2019). Why does interleaving improve math learning? The contributions of discriminative contrast and distributed practice. *Memory & cognition*, 47(6), 1088–1101. <https://doi.org/10.3758/s13421-019-00918-4>.

- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, 86, 186–204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>.
- Fuster, J. M. (2017). Prefrontal Cortex in Decision-Making: The Perception–Action Cycle. In: J. C. Dreher & L. Trambly (Eds.) *Decision Neuroscience: an integrative approach*. Cambridge: Academic Press. pp. 95-105. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805308-9.00008-7>.
- Fuster J. M. (2022). Cognitive Networks (Cognits) Process and Maintain Working Memory. *Frontiers in neural circuits*, 15, 790691. <https://doi.org/10.3389/fncir.2021.790691>.
- Gathercole, S. E., Dunning, D. L., Holmes, J., & Norris, D. (2016). Working memory training involves learning new skills. *Journal of memory and language*, 105, 19–42. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2018.10.003>.
- Gruber, M. J., Ritchey, M., Wang, S. F., Doss, M. K., & Ranganath, C. (2016). Post-learning Hippocampal Dynamics Promote Preferential Retention of Rewarding Events. *Neuron*, 89(5), 1110–1120. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.01.017>.
- Gunzenhauser, C., & Nücles, M. (2021). Training Executive Functions to Improve Academic Achievement: Tackling Avenues to Far Transfer. *Frontiers in psychology*, 12, 624008. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.624008>.
- Hare, T. A., Tottenham, N., Davidson, M. C., Glover, G. H., & Casey, B. J. (2005). Contributions of amygdala and striatal activity in emotion regulation. *Biological psychiatry*, 57(6), 624–632. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2004.12.038>.
- Hayashi-Takagi, A., Yagishita, S., Nakamura, M., Shirai, F., Wu, Y. I., Loshbaugh, A. L., Kuhlman, B., Hahn, K. M., & Kasai, H. (2015). Labelling and optical erasure of synaptic memory traces in the motor cortex. *Nature*, 525(7569), 333–338. <https://doi.org/10.1038/nature15257>.
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior: a neuropsychological theory*. Wiley.
- Helene, A. F., & Xavier, G. F. (2003). A construção da atenção a partir da memória. *Brazilian Journal of Psychiatry*, 25, 12–20. <https://doi.org/10.1590/S1516-44462003000600004>.

Hesslow, G. (2002). Conscious thought as simulation of behaviour and perception. *Trends in cognitive sciences*, 6(6), 242–247. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(02\)01913-7](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(02)01913-7).

How to DAD. (2023, June 19) *Ban cellphones in schools*. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=zPg9eoS0woM>.

Immordino-Yang, M.H. and Damasio, A. (2007), We Feel, Therefore We Learn: The Relevance of Affective and Social Neuroscience to Education. *Mind, Brain, and Education*, 1: 3-10. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2007.00004.x>.

Iolov, T. V. (2023, June 27) *Will Finland ban smartphones in schools?* TheMayor.EU – the European Portal for Cities and Citizens. <https://www.themayor.eu/en/a/view/will-finland-ban-smartphones-in-schools-11930>.

James, W. (1931). *The principles of psychology*, Vol. 1. Henry Holt and Co. <https://doi.org/10.1037/10538-000>. Trabalho original publicado em 1890.

Johnson, M. S. & Stearns, P. N. (2022). *Education in World History*. Routledge.

Kim, J. J., Lee, H. J., Han, J. S., & Packard, M. G. (2001). Amygdala is critical for stress-induced modulation of hippocampal long-term potentiation and learning. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 21(14), 5222–5228. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.21-14-05222.2001>.

Kim, R., & Sejnowski T.J. (2021). Strong inhibitory signaling underlies stable temporal dynamics and working memory in spiking neural networks. *Nat Neurosci* 24, 129–139. <https://doi.org/10.1038/s41593-020-00753-w>.

Kolb, B. (2007). Do all mammals have a prefrontal cortex? In J. H. Kaas (Ed.) *Evolution of Nervous Systems*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. v. 3 p. 443-450. <https://doi.org/10.1016/B0-12-370878-8/00081-1>.

Kristensen, C. H., Almeida, R. M. M., & Gomes, W. B.. (2001). Desenvolvimento Histórico e Fundamentos Metodológicos da Neuropsicologia Cognitiva. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 14(2), 259–274. <https://doi.org/10.1590/S0102-79722001000200002>.

Kwak, Y., & Curtis, C. E. (2022). Unveiling the abstract format of mnemonic representations. *Neuron*, 110(11), 1822–1828.e5. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2022.03.016>.

- Liu, H., Forest, T. A., Duncan, K., & Finn, A. S. (2023). What sticks after statistical learning: The persistence of implicit versus explicit memory traces. *Cognition*, 236, 105439. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2023.105439>.
- Lomo, T. (2003). The discovery of long-term potentiation. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 358(1432), 617–620. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1226>.
- Loomba, S., Strachle, J., Gangadharan, V., Heike, N., Khalifa, A., Motta, A., Ju, N., Sievers, M., Gempt, J., Meyer, H. S., & Helmstaedter, M. (2022). Connectomic comparison of mouse and human cortex. *Science (New York, N.Y.)*, 377(6602), eabo0924. <https://doi.org/10.1126/science.abo0924>.
- Luria, A.R. (1981) *Fundamentos de Neuropsicologia*. Editora USP. Trabalho original publicado em 1973.
- Markant, D.B., Ruggeri, A., Gureckis, T.M., & Xu, F. (2016), Enhanced Memory as a Common Effect of Active Learning. *Mind, Brain, and Education*, 10: 142-152. <https://doi.org/10.1111/mbe.12117>.
- Maliske, L., & Kanske, P. (2022). The Social Connectome - Moving Toward Complexity in the Study of Brain Networks and Their Interactions in Social Cognitive and Affective Neuroscience. *Frontiers in psychiatry*, 13, 845492. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2022.845492>.
- May, K.E., Elder, A.D. (2018). Efficient, helpful, or distracting? A literature review of media multitasking in relation to academic performance. *Int J Educ Technol High Educ* 15, 13. <https://doi.org/10.1186/s41239-018-0096-z>.
- Menon, V. (2016). A neurodevelopmental perspective on the role of memory systems in children’s math learning. In *Development of Mathematical Cognition* (pp. 79-107). Academic Press.
- Menon V. (2023). 20 years of the default mode network: A review and synthesis. *Neuron*, S0896-6273(23)00308-2. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2023.04.023>.
- Minagar, A., Ragheb, J., & Kelley, R. E. (2003). The Edwin Smith surgical papyrus: description and analysis of the earliest case of aphasia. *Journal of medical biography*, 11(2), 114–117. <https://doi.org/10.1177/096777200301100214>.
- Mischel, W., & Ebbesen, E. B. (1970). Attention in delay of gratification. *Journal of Personality and Social Psychology*, 16(2), 329–337. <https://doi.org/10.1037/h0029815>.
- Morel, C., Montgomery, S. E., Li, L., Durand-de Cuttoli, R., Teichman, E. M., Juarez, B., Tzavaras, N., Ku, S. M., Flanigan, M. E., Cai, M., Walsh, J. J., Russo, S. J., Nestler, E. J., Calipari, E. S., Friedman, A. K., & Han, M. H. (2022). Midbrain projection to the basolateral amygdala encodes anxiety-like but not

depression-like behaviors. *Nature communications*, 13(1), 1532. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29155-1>.

Nachonicz, L. A. (2002). A epistemologia da educação. *Educar Em Revista*, (19), 53–72. <https://doi.org/10.1590/0104-4060.246>.

National Geographic. (2015, October 27). *Debunking the 'Pointless' Education Myth | StarTalk*. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=utedyJ7QRBs>.

Oatley, K. (1999). Emotions. In Wilson R. A., & Keil F. C. *The MIT encyclopedia of the cognitive sciences*. 1<sup>a</sup> ed. Cambridge, MA. pp. 273-275. The MIT Press.

Ochoa, G. & Corey, M. (1995) *The timeline book of science*. New York: The Stonesong Press, Inc. 434p.

Ophir, E., Nass, C., & Wagner, A. D. (2009). Cognitive control in media multitaskers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(37), 15583–15587. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903620106>.

Ose Askvik, E., van der Weel, F. R. R., & van der Meer, A. L. H. (2020). The Importance of Cursive Handwriting Over Typewriting for Learning in the Classroom: A High-Density EEG Study of 12-Year-Old Children and Young Adults. *Frontiers in psychology*, 11, 1810. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01810>.

Pareto, L., Ekström, S., & Serholt, S. (2022). Children's learning-by-teaching with a social robot versus a younger child: Comparing interactions and tutoring styles. *Frontiers in robotics and AI*, 9, 875704. <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.875704>.

Radvansky, G. A., Doolen, A. C., Pettijohn, K. A., & Ritchey, M. (2022). A new look at memory retention and forgetting. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 48(11), 1698–1723. <https://doi.org/10.1037/xlm0001110>.

Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(2), 676–682. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.2.676>.

Raichle M. E. (2015). The brain's default mode network. *Annual review of neuroscience*, 38, 433–447. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-071013-014030>.

Ranney, M., & Shimoda, T. (1999). Education. In Wilson R. A., & Keil F. C. *The MIT encyclopedia of the cognitive sciences*. 1<sup>a</sup> ed. Cambridge, MA. pp. 261-262. The MIT Press.

Rasch, B., & Born, J. (2013). About sleep's role in memory. *Physiological reviews*, 93(2), 681–766. <https://doi.org/10.1152/physrev.00032.2012>.

Reisberg, D. (1999). Learning. In Wilson R. A., & Keil F. C. *The MIT encyclopedia of the cognitive sciences*. 1<sup>a</sup> ed. Cambridge, MA. pp. 460-461. The MIT Press.

Richerson, P. J. & Boyd, R. (2005). *Not by Genes Alone: How Culture Transformed Human Evolution*. University of Chicago Press.

Roberts, P., Cosgrave, C., Gillespie, J., Malatzky, C., Hyde, S., Hu, W. C., Bailey, J., Yassine, T., & Downes, N. (2021). 'Re-placing' professional practice. *The Australian journal of rural health*, 29(2), 301–305. <https://doi.org/10.1111/ajr.12717>.

Sasin, E., & Fougny, D. (2021). The road to long-term memory: Top-down attention is more effective than bottom-up attention for forming long-term memories. *Psychonomic bulletin & review*, 28(3), 937–945. <https://doi.org/10.3758/s13423-020-01856-y>.

Schacter, D. L. (2022). Media, Technology, and the Sins of Memory. *Memory, mind & media*, 1, e1. <https://doi.org/10.1017/mem.2021.3>.

Schilling, T. M., Kölsch, M., Larra, M. F., Zech, C. M., Blumenthal, T. D., Frings, C., & Schächinger, H. (2013). For whom the bell (curve) tolls: cortisol rapidly affects memory retrieval by an inverted U-shaped dose-response relationship. *Psychoneuroendocrinology*, 38(9), 1565–1572. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2013.01.001>.

Scoville, W. B. (1954). The limbic lobe in man. *Journal of neurosurgery*, 11(1), 64–66. <https://doi.org/10.3171/jns.1954.11.1.0064>.

Scoville, W. B., & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 20(1), 11–21. <https://doi.org/10.1136/jnnp.20.1.11>.

Schultz, W., Dayan, P., & Montague, P. R. (1997). A neural substrate of prediction and reward. *Science* (New York, N.Y.), 275(5306), 1593–1599. <https://doi.org/10.1126/science.275.5306.1593>.

Schultz W. (2016). Dopamine reward prediction-error signalling: a two-component response. *Nature reviews. Neuroscience*, 17(3), 183–195. <https://doi.org/10.1038/nrn.2015.26>.

Seeley, W. W., Menon, V., Schatzberg, A. F., Keller, J., Glover, G. H., Kenna, H., Reiss, A. L., & Greicius, M. D. (2007). Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control.

*The Journal of neuroscience*: the official journal of the Society for Neuroscience, 27(9), 2349–2356. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5587-06.2007>.

Shettleworth, S. J. (2010). *Cognition, Evolution, and Behavior*. (2nd ed.) Oxford University Press.

Song, Z., Jeneson, A., & Squire, L. R. (2011). Medial temporal lobe function and recognition memory: a novel approach to separating the contribution of recollection and familiarity. *The Journal of neuroscience*: the official journal of the Society for Neuroscience, 31(44), 16026–16032. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3012-11.2011>.

Squire, L. R. (2009). The legacy of patient H.M. for neuroscience. *Neuron*, 61(1), 6–9. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.12.023>.

Squire, L. R., Genzel, L., Wixted, J. T., & Morris, R. G. (2015). Memory consolidation. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 7(8), a021766. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a021766>.

Tononi, G., & Cirelli, C. (2003). Sleep and synaptic homeostasis: a hypothesis. *Brain research bulletin*, 62(2), 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2003.09.004>.

Tononi, G., & Cirelli, C. (2014). Sleep and the price of plasticity: from synaptic and cellular homeostasis to memory consolidation and integration. *Neuron*, 81(1), 12–34. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.12.025>.

Ullman, M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: the declarative/procedural model. *Cognition*, 92(1-2), 231–270. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.10.008>.

Umejima, K., Ibaraki, T., Yamazaki, T., & Sakai, K. L. (2021). Paper Notebooks vs. Mobile Devices: Brain Activation Differences During Memory Retrieval. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 15, 634158. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.634158>.

Wenyan, X., Tiandong, D. & Sen, Y. (2021). Discussion on the application of Feynman learning method in non-commissioned officer education. *Proceedings of the 2021 2nd International Conference on Mental Health and Humanities Education (ICMHHE 2021)*, 561. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210617.156>.

Whitaker, K. J., Vértes, P. E., Romero-Garcia, R., Váša, F., Moutoussis, M., Prabhu, G. ... Bullmore, E. T. (2016). Adolescence is associated with genomically patterned consolidation of the hubs of the human brain connectome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(32), 9105–9110. <https://doi.org/10.1073/pnas.1601745113>.

Whitehead, H. (2009). *Culture in Whales and Dolphins*. Encyclopedia of Marine Mammals, 292–294. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-373553-9.00068-7>.

#### **DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE**

**O autor declara que não há conflito de interesse com o presente artigo.**

## Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.