

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM INOVAÇÃO, GESTÃO E PRÁTICAS
DOCENTES NO ENSINO SUPERIOR**

LUIZ EDUARDO CANTON SANTOS

**MECANISMOS NEUROBIOLÓGICOS E COMPORTAMENTAIS DA
APRENDIZAGEM: RELAÇÃO COM AS ABORDAGENS
ANDRAGÓGICAS E HEUTAGÓGICAS NA EDUCAÇÃO MÉDICA**

**FACULDADE SANTO AGOSTINHO DE ITABUNA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

LUIZ EDUARDO CANTON SANTOS

**MECANISMOS NEUROBIOLÓGICOS E COMPORTAMENTAIS DA
APRENDIZAGEM: RELAÇÃO COM AS ABORDAGENS
ANDRAGÓGICAS E HEUTAGÓGICAS NA EDUCAÇÃO MÉDICA**

Trabalho de Conclusão de Curso, em formato de artigo científico, apresentado como requisito parcial à obtenção do título de especialista pelo curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Inovação, Gestão e Práticas Docentes no Ensino Superior, sob a orientação/coordenação do Prof. Dr. Luciano de Oliveira Souza Tourinho.

S237m

SANTOS, Luiz Eduardo Canton

**Mecanismos Neurobiológicos e Comportamentais da Aprendizagem: relação com as abordagens andragógicas e heurísticas na educação médica. / Luiz Eduardo Canton Santos, -- Itabuna: FASAI, 2021. 2
19p.**

Orientador: Prof.º Pós Dr.º Luciano de Oliveira Souza Tourinho.

**Trabalho de Conclusão da Pós-Graduação Lato Sensu em Inovação,
Gestão e Práticas Docentes no Ensino Superior pela Faculdade Santo
Agostinho de Itabuna, BA – FASAI.**

**1. Educação Médica. 2. Neurociência. 3. Heurística. 4. Andragogia.
I. Santos, Luiz Eduardo Canton. II. Tourinho, Luciano de Oliveira Souza.
III. Faculdade Santo Agostinho de Itabuna. IV. Título.**

CDU:378

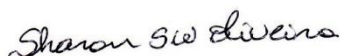
FOLHA DE APROVAÇÃO

MECANISMOS NEUROBIOLÓGICOS E COMPORTAMENTAIS DA APRENDIZAGEM: RELAÇÃO COM AS ABORDAGENS ANDRAGÓGICAS E HEUTAGÓGICAS NA EDUCAÇÃO MÉDICA

LUIZ EDUARDO CANTON SANTOS

Aprovado em 17 de julho de 2021

BANCA EXAMINADORA



Me. Sharon Shyrley Weyll Oliveira
Faculdade Santo Agostinho de Itabuna



Dr. Luciano Tourinho
Faculdade Santo Agostinho de Itabuna



Me. Ana Paula da Silva Sotero
Faculdade Santo Agostinho de Vitória da Conquista

MECANISMOS NEUROBIOLÓGICOS E COMPORTAMENTAIS DA APRENDIZAGEM: RELAÇÃO COM AS ABORDAGENS ANDRAGÓGICAS E HEUTAGÓGICAS NA EDUCAÇÃO MÉDICA

Luiz Eduardo Canton Santos

Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves, UNIPTAN.

RESUMO

A neurociência tem demonstrado avanços significados no conhecimento dos mecanismos biológicos subjacentes ao aprendizado e à memória. Com a crescente compreensão desses processos, discussões sobre as abordagens de ensinoaprendizagem têm surgido com o intuito de facilitar o aprendizado, a retenção, a memória, a motivação e a aplicabilidade nos mais diversos ambientes de aprendizagem. No entanto, grande parte desse conhecimento se limita a abordagens pedagógicas, quando, na verdade, muito pode ser utilizado para se endossar abordagens andragógicas e heutagógicas, com contextos mais ativos, principalmente no processo de educação médica. Apresentar a educadores e alunos os processos com os quais o cérebro permite a consolidação de memórias e a mudança de comportamentos por meio do aprendizado pode facilitar a aceitação de abordagens mais ativas além de conduzir a momentos planejados de motivação. Com base nessas informações, esse trabalho pretende identificar os principais achados neurobiológicos e sua inter-relação com as abordagens andragógicas e heutagógicas, a fim de identificar as consideráveis oportunidades para a integração do conhecimento atual sobre a biologia da aprendizagem com estratégias educacionais e desenho curricular na educação médica.

Palavras-chave: Educação médica. Neurociência. Heutagogia. Andragogia.

Autor correspondente:

Luiz Eduardo Canton Santos

Contatos: luiz.santos@uniptan.edu.br, +55 (32) 99104-5834

Coordenação do Curso de Medicina

Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves - UNIPTAN

Av. Dr. José Caetano de Carvalho - Centro, São João del Rei – MG 36307-251

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço das técnicas de imageamento funcional do cérebro, bem como de análises mais profundas das atividades neurobiológicas de conjuntos de células neuronais durante processos e comportamentos animais, em regiões específicas do encéfalo, o uso da neurociência tem sido amplamente discutido como ferramenta para se compreender os mecanismos de memória e aprendizado (KANDEL *et al.*, 2014). No entanto, foi apenas na década de 80, quando a proposta de um profissional neuroeducador surgiu, capaz de caminhar pela natureza transdisciplinar da área e destacar a importância de um bom ensino utilizando o conhecimento da estrutura e função do cérebro (FULLER; GLENDENING, 1985; HOWARD-JONES, 2014).

Hoje, diversos institutos pelo mundo buscam evidências de que as transformações celulares e estruturais, em diversos níveis, ocorridas no cérebro durante os processos de aprendizagem, possam dar indícios de práticas e métodos ideias para otimizar o processo de ensino aprendizagem (HOWARD-JONES, 2014). Grande parte dos esforços de pesquisa para compreensão desses aspectos neurobiológicos da aprendizagem são focados nas abordagens pedagógicas onde, a cada dia, são discutidas descobertas do desenvolvimento do cérebro infantil, incluindo as redes cognitivas e diferentes contextos subjacentes à aprendizagem e motivação, como potenciais revolucionários dos sistemas escolares em todo o mundo (STAFFORD-BRIZARD *et al.*, 2017).

De fato, o cérebro infantil e adolescente passa por diversas transformações até a fase adulta. Estudos de neuroimagem longitudinais em grande escala identificaram aumentos e diminuições não lineares na substância cinzenta cortical e aumento na substância branca entre 4 e 20 anos. As mudanças na massa cinzenta cortical demonstraram-se regionalmente específicas, com curvas de desenvolvimento para o lobo frontal e parietal atingindo o pico por volta dos 12 anos e para o lobo temporal por volta dos 16 anos, enquanto a massa cinzenta cortical continuou a aumentar no lobo occipital até os 20 anos. Após esses períodos há diminuição significativa ao longo da vida adulta (JAY *et al.*, 1999; NAGY *et al.*, 2004). A descoberta sobre essas alterações, principalmente em regiões conhecidas dos processamentos de memória executiva e de trabalho, comportamento e aprendizagem, imediatamente induziram a concepções mal interpretadas, de que algumas habilidades e competências possam ser melhor aproveitadas durante momentos específicos da vida, como em janelas de

aprendizagem ou que usamos apenas parte do cérebro (MARESCHAL *et al.*, 2013; TIERNEY; NELSON, 2009). O desenvolvimento da área, conhecida como neurociência educacional ou, em alguns círculos, Mente, Cérebro e Educação (MBE, sigla em inglês para *Mind, Brain and Education*), tem sido intensamente discutido e debatido por vários estudiosos (BOWERS, 2016; GOSWAMI, 2006; HOWARDJONES *et al.*, 2016). Alguns dos primeiros debates sugeriram que o campo é uma “ponte muito distante” originada de mal-entendidos sobre o que é neurociência educacional.

A neurociência educacional não é apenas uma maneira de melhorar, explicar ou analisar o ensino, mas é muito mais ampla e complexa; procura explicar como os alunos aprendem e como a aprendizagem muda o cérebro e, em seguida, aplica essas descobertas na sala de aula (HOWARD-JONES *et al.*, 2016). Exatamente devido à essa complexidade e ao uso de jargões técnicos e métodos complexos, que muitas vezes não são familiares para quem está fora dos laboratórios de neurociências, é que surgem interpretações errôneas sobre as vantagens da neurociência educacional, criando os neuromitos (GOSWAMI, 2006). Além disso, os métodos da neurociência são muito diferentes dos métodos usados para estudar a educação; os neurocientistas, muitas vezes, consideram o cérebro como o principal componente envolvido na aprendizagem, mas os educadores examinam o impacto de vários ambientes e configurações na aprendizagem do aluno (por exemplo, salas de aula, ambiente doméstico e playgrounds). Tais fatos, demonstram uma forte necessidade de tornar a literatura técnica mais acessível a educadores que talvez não tenham formação avançada nas Neurociências. Também é extremamente importante que as descobertas da neurociência sobre a aprendizagem e o cérebro sejam transmitidas e comunicadas aos formuladores de políticas educacionais. Existem vários exemplos de mudanças políticas que foram atribuídos às descobertas da neurociência educacional. Pesquisas sobre sono, ritmos circadianos e desenvolvimento do cérebro, por exemplo, levaram alguns administradores a ajustar os horários de início das aulas em diversos países (GOSWAMI, 2006; ZADINA, 2015).

O campo da neurociência educacional deve integrar pesquisa comportamental, educacional e neurocientífica (FEILER; STABIO, 2018). A colaboração interdisciplinar deve se expandir além das disciplinas de educação, psicologia e neurociência, para incluir também medicina, direito, negócios, ciência e tecnologia. Como já comentado, a maioria das pesquisas em neurociência educacional tem se concentrado no ensino

fundamental, pedagógico, mas há um grande potencial para o campo impactar a forma como alunos adultos aprendem, incluindo alunos de medicina, direito, administração e cursos de pós-graduação, principalmente por meio das abordagens da andragogia e heutagogia (ABRAHAM; KOMATTIL, 2016; BANSAL *et al.*, 2020). Muitos desses programas de treinamento de adultos incluem ambientes de aprendizagem de grande estresse, competição intensa, testes de resistência de alto risco (exames para residência médica ou exame da ordem) e severa privação de sono, todas áreas relativamente intocadas da pesquisa educacional em neurociência (FEILER; STABIO, 2018).

No Brasil, Estados Unidos e em diversos lugares no mundo, faculdades de medicina continuam a passar por mudanças curriculares, reorganizações e reformas em suas matrizes em decorrência do impacto na velocidade das pesquisas na área de saúde, impossibilitando a atualização em tempo real das descobertas e das mudanças de práticas clínicas. Essas mudanças, portanto, buscam incentivar às experiências de aprendizagem mais autodirecionadas, oportunidades de autoavaliação e recursos de tecnologia avançada para ajudar os alunos a desenvolver as competências necessárias para a busca autossuficiente e ao longo da vida (LIAISON COMMITTEE ON MEDICAL EDUCATION, 2017; MACHADO *et al.*, 2018). Em resposta, os educadores médicos buscam novas abordagens para o ensino, como sala de aula invertida, aprendizagem baseada em equipe, aprendizagem baseada em casos clínicos e novas tecnologias educacionais ativas. Simulação de realidade virtual, simuladores táteis, dispositivos de realidade aumentada, aplicativos móveis, podcasts e vídeos estão sendo explorados como formas de facilitar a aquisição de conhecimentos básicos, coordenação de habilidades, habilidades de tomada de decisão e raciocínio clínico (BANSAL *et al.*, 2020; FEILER; STABIO, 2018; MACHADO *et al.*, 2018).

As abordagens supracitadas, apesar de endossadas por conceitos bem formulados da neurociência (BARRAS, 2019; SANDRONE; SCHNEIDER, 2020; STOCKWELL *et al.*, 2015), encontram resistência por parte dos docentes e discentes, que estão acostumados com a abordagem tradicional, onde o professor é o principal responsável pela transmissão do conhecimento. Portanto, parte da ponte distante entre a neurociência e a ciência educacional pode se dever a dificuldade na compreensão das vantagens das abordagens ativas para a aquisição de competências e habilidades na aprendizagem para adultos, principalmente na educação médica. Propõe-se, portanto,

que quando um professor entende que sua própria rede neural não é igual a de seus alunos, haverá mais empenho em criar oportunidades para que os alunos desenvolvam seu próprio entendimento, ao invés de apenas reproduzir seu conhecimento limitado sobre o assunto. Dessa forma, entende-se que a abordagem centrada no professor fornece conteúdo e prática e, sem dúvida, ativará sinapses e circuitos. No entanto, ela não fornece contextos para aumentar a motivação e a aceitação emocional necessária para a natureza associativa do fortalecimento sináptico, além de não envolverem interações sociais entre pares, impedindo contribuições desses circuitos no fortalecimento da aprendizagem. As práticas centradas no professor oferecem poucas oportunidades para os alunos se envolverem em sua própria exploração, raciocínio ou pensamento estratégico. Assim, compreender a neurociência da plasticidade, da comunicação sináptica e do desenvolvimento, pode fornecer aos professores uma explicação de por que o aprendizado centrado no aluno pode ser eficaz. A explicação fornece uma base para mudar o modelo de mundo pessoal (neste caso, o ensino), fornecendo aos docentes um modelo de aprendizagem preciso e acessível, transcendendo a barreira de definições entre neurociência e educação (SCHWARTZ *et al.*, 2019).

Com base nessas informações, o objetivo desse trabalho foi buscar a relação entre o conhecimento atual sobre os mecanismos neurobiológicos e comportamentais da aprendizagem e sua relação com as abordagens andragógicas e heutagógicas de ensino-aprendizagem. Para alcançar esse objetivo, serão abordados os conceitos de andragogia e heutagogia, os recursos neurobiológicos validados, em humanos e animais, que possam ser incorporados nos paradigmas de ensino-aprendizagem em adultos, bem como suas interrelações e os principais aspectos que tornam essas abordagens temas importantes para discussão na educação médica, onde já têm sido implementadas por todo o mundo.

VARIAÇÕES NOS PARADIGMAS PARA A TRANSIÇÃO DAS ABORDAGENS PEDAGÓGICAS, ANDRAGÓGICAS E HEUTAGÓGICAS NA EDUCAÇÃO MÉDICA

O início da transição entre as abordagens pedagógicas, de aprendizado centradas no professor, para as abordagens andragógicas, especificamente para o ensino de adultos, ocorreu por volta da década de 70, com as publicações de Malcolm

Shepherd Knowles (KNOWLES, 1975, 1978). A partir daí, com o aumento na velocidade das descobertas e mudança de práticas clínicas na área de saúde, viu-se a necessidade de transitar a educação médica para abordagens mais ativas, utilizando-se de metodologias educacionais como a aprendizagem baseada em problemas, aprendizagem autodirigida e aprendizagem baseada em casos, sustentando os conceitos da andragogia (FEILER; STABIO, 2018; MACHADO *et al.*, 2018).

Na abordagem andragógica, os alunos são o centro do processo de aprendizagem, assumindo a responsabilidade de identificar as necessidades de aprendizagem e explorar as estratégias nas quais essas necessidades seriam atendidas, adquirindo as competências necessárias. Os professores, por sua vez, estabelecem o conteúdo do curso e os objetivos de aprendizagem, enquanto o aluno decide como aprender o conteúdo. Portanto, os docentes ainda estão, em grande parte, no controle do processo de ensino-aprendizagem (ABRAHAM; KOMATTIL, 2016).

A aquisição de competências, no entanto, tem sido considerada limitada para o desenvolvimento das habilidades completas dos estudantes de medicina, já que a profissão médica inclui contextos mais complexos (HASE; KENYON, 2007). Dessa forma, a andragogia por si só pode não capacitar os alunos a se prepararem para a aprendizagem ao longo da vida (BLASCHKE, 2012). As críticas surgem principalmente pela perspectiva de que a abordagem por competências se limita a treinar os alunos, principalmente para atingir marcos e não a excelência. Portanto, alguns autores sugerem que a abordagem andragógica visa o desenvolvimento da competência dos alunos, mas não da aptidão ou disposição adquirida (*capability*, em tradução livre) (ABRAHAM; KOMATTIL, 2016; BLASCHKE, 2012; HASE; KENYON, 2007). Nesse contexto, surgem os conceitos da heutagogia, colocando o poder de aprender nas mãos do aprendiz, e somando os conceitos de competência e aptidão para aprender, com o objetivo de moldar alunos que possam ter um desempenho eficaz no mundo real.

A heutagogia ou aprendizagem autodeterminada é uma abordagem educacional descrita pela primeira vez, para o melhor do nosso conhecimento, no contexto da educação profissional, por Stewart Hase e Chris Kenyon no início dos anos 2000. Nessa abordagem, espera-se que os alunos estabeleçam seus objetivos, reflitam e revisem suas experiências de aprendizagem, em um processo em direção ao alcance desses objetivos. A heutagogia enfatiza a aptidão motivada e aquisição de

conhecimento de forma auto-regulada pelos alunos, no que Hase e Kenyon (2007), chamaram de nutrição do próprio conhecimento.

A aptidão é a capacidade dos alunos de usar as competências em situações incertas e novas, por meio do desenvolvimento da confiança em sua capacidade de tomar decisões apropriadas e eficazes, para formular e resolver problemas em ambientes familiares e desconhecidos e durante mudanças (ABRAHAM; KOMATTIL, 2016). Observa-se, portanto, que os princípios heutagógicos exigem um nível mais profundo de cognição, em que o aluno vai além de ser competente em termos de autoeficiência, adaptabilidade, capacidade de resolver problemas (HASE; KENYON, 2007) e de gerenciar desafios complexos e não lineares (PHELPS *et al.* 2005).

A aprendizagem é um processo contínuo e deve acontecer pelos alunos, sobretudo em um mundo em mudança, para que se adaptem à essas mudanças. Para que isso seja possível, Abraham e Komattil (2016) propõem que se precisa envolver os alunos na elaboração de seus próprios contratos e contextos de aprendizagem (conteúdos e estratégias de aprendizagem, avaliação), com a ajuda dos professores. Além disso, é preciso tornar os currículos mais flexíveis (HASE; KENYON, 2007), promovendo a autonomia do aluno sobre o processo de aprendizagem e dando-lhes a liberdade e a oportunidade para diversos questionamentos, nos quais eles próprios tentam encontrar respostas de acordo com sua motivação. Assim, alunos que recebem maior apoio à autonomia tornam-se alunos de alto desempenho mais tarde na vida, e apresentam melhor desempenho do que aqueles que são pressionados a trabalhar em direção a metas estabelecidas por outros (ABRAHAM; KOMATTIL, 2016).

É comum que as fortes mudanças das abordagens andragógicas e heutagógicas no papel do professor (que outrora sentia-se exercendo muito mais controle sobre o processo de aprendizagem, para orientação na obtenção das capacidades esperadas em seus alunos), evoque o sentimento de insegurança e perda de autoridade, pelo menos para alguns. Para Abraham e Komattil (2016), essa noção preconcebida de que o papel do professor fica limitado ao de um guia, é o maior desafio envolvido na concepção de intervenções baseadas na heutagogia. O papel dos professores em um modelo andragógico/heutagógico seria o de implantar um alicerce, no qual apoiem a progressão dos alunos em direção às competências e forneçam oportunidades para a realização das capacidades e aptidões. Portanto, com a mudança das tendências na educação médica, o papel do professor também deve se adaptar à essas mudanças.

Alguns estudos tem demonstrado que essa resistência docente ao uso de metodologias centradas no aluno pode ser mais facilmente desfeita, e até mesmo convertendo-os a defensores dessas abordagens, por meio de treinamentos sobre os processos neurobiológicos da memória, da aprendizagem e do desenvolvimento humano (SCHWARTZ *et al.*, 2019). Obviamente, na educação médica, a maioria dos professores são letrados nas áreas básicas da neurologia, no entanto, abordagens mais focadas em como o cérebro aprende, bem como a apresentação das abordagens de maneira mais direcionada à educação, parecem ter conseguido resultados na transição entre a visão pedagógica para as visões andragógicas e heutagógicas (DOMMETT *et al.*, 2011; ROEHRIG *et al.*, 2012; SCHWARTZ *et al.*, 2019). No estudo de Schwartz e colaboradores (2019), professores foram apresentados a princípios básicos de neurociências durante um curso específico para o ensino. Após o curso, observaram que os docentes mudaram seus planos de aula para metodologias mais ativas e baseadas em investigação, além de promoverem mais conversas e reflexão dos conteúdos dirigidos em sala de aula, levando a discussões de ordem superior e aplicações para os problemas apresentados em sala de aula. Uma análise extensiva dos planos de aula atualizados desses professores revelou um número rico e variado de práticas de ensino centradas no aluno. As justificativas para essas mudanças incluíram razões didáticas e baseadas na neurociência. Esses resultados demonstraram a capacidade dos professores de compreender a relevância da neurociência para a aplicação adequada das ideias e práticas ativas em seus próprios ambientes educacionais. Ainda, de acordo com esse estudo, o conhecimento sobre o que os alunos sabem, como aprendem e o que os motiva, a partir da discussão com abordagens neurobiológicas, teve papel central para o reconhecimento de que eles não eram o único repositório de conhecimento. Em vez disso, eles buscaram oportunidades para permitir que os alunos experimentassem conceitos, apoiando-se na construção colaborativa dos objetivos de estudo e ajudando os alunos a dar sentido a essas experiências.

Portanto, torna-se evidente que o conhecimento sobre a neurobiologia do cérebro durante processos de aprendizagem e desenvolvimento parece influenciar na tomada de decisão e resistência sobre o uso de abordagens mais centradas no aluno. Conhecer aspectos tais como a forma como o estresse, motivação e recompensa, repetição, consolidação, visualização, multitarefas e envolvimento ativo funcionam no cérebro discente pode engajar os docentes nas abordagens ativas.

Portanto, o próximo texto buscará apresentar as principais observações da neurociência da memória, do aprendizado e do desenvolvimento humano como noções que possam endossar o uso de práticas cada vez mais ativas na educação médica, a fim de identificar oportunidades consideráveis para a integração do conhecimento atual sobre a biologia da aprendizagem às estratégias educacionais e ao desenho curricular.

Premissas da neurociência podem ajudar na consolidação das abordagens heurísticas na educação médica

Os avanços da neurociência no último século, desde a caracterização dos neurônios por Camillo Golgi e Santiago Ramón y Cajal, em 1906, até a crescente demonstração precisa de várias vias de sinalização molecular, dentro e entre grupos de neurônios que desempenham papéis na aprendizagem, têm sido imensuráveis (KANDEL *et al.*, 2014). Além das abordagens focadas nas células neuronais, há avanços igualmente impressionantes na neurociência de sistemas com o objetivo de analisar as propriedades de redes neurais em grande escala e a aplicação de abordagens comportamentais computacionais e quantitativas, combinadas com imagens cerebrais funcionais como estratégias empregadas para observação de cérebros humanos durante aquisição, armazenamento e recuperação de informações em uma variedade de tarefas e configurações comportamentais (LEE; SILVA, 2009; PENNARTZ *et al.*, 2009; SOTO *et al.*, 2008).

Os avanços na compreensão do cérebro têm fornecido muitos *insights* e oportunidades para decifrar as bases biológicas do aprendizado e da memória em cérebros saudáveis e doentes, no entanto, a aplicação desse conhecimento à prática educacional tem sido limitada (FRIEDLANDER *et al.*, 2011; SCHWARTZ *et al.*, 2019). Portanto, torna-se importante examinar como os princípios derivados da pesquisa sobre a aprendizagem podem ser melhor aplicados às abordagens utilizadas na educação médica de forma continuada, desde à educação pré-médica, a própria experiência durante a faculdade de medicina, a pós-graduação médica e a aprendizagem ao longo da vida.

Vários aspectos neurobiológicos e comportamentais foram descritos como atores dos mecanismos de consolidação, motivação e recompensa durante os processos de aprendizagem. Esses mecanismos funcionam num processo dinâmico em que as

informações apresentadas estão sujeitas às experiências pessoais, ao contexto do ambiente de aprendizagem, aos eventos subsequentes, aos níveis de atenção, ao estresse e a outros fatores (FRIEDLANDER *et al.*, 2011). Essas complexas influências geram mudanças na produção de proteínas localizadas nas proximidades de contatos (sinapses) entre as células neuronais aumentando a força dos sinais subsequentes produzidos por um impulso nervoso dos neurônios pré-sinápticos no neurônio pós-sináptico (KANDEL *et al.*, 2014).

Trabalhos experimentais demonstram que processos de repetição, direta ou indireta, de informações a serem aprendidas, podem influenciar de maneira persistente nessas mudanças sinápticas, principalmente quando observado o intervalo entre ativações. Portanto, a ativação repetida de vias neuronais com espaçamento adequado leva a uma cascata de sinais moleculares que são diferentes e mais persistentes do que aqueles que acompanham intervalos mais breves ou em menor quantidade (SCHARF *et al.*, 2002).

Mesmo em abordagens pedagógicas, o valor da repetição e da revisão de um mesmo tópico já é conhecido entre educadores. No entanto, os currículos médicos costumam empregar grandes volumes de conteúdos de forma comprimida e ao longo de períodos de tempo limitados, o que, por sua vez, acaba proporcionando poucas oportunidades para revisão e consolidação com intervalo apropriado. Essa observação levanta a questão sobre a administração do tempo na educação médica, onde o aluno se vê entre fazer uma abordagem rasa de tudo ou se aprofundar em tópicos selecionados (FRIEDLANDER *et al.*, 2011). De acordo com os estudos de Moscovitch e colaboradores (2006) sobre a neurobiologia da aprendizagem, aprofundar-se em tópicos mais específicos tem mais probabilidade de resultar em melhor retenção e profundidade de compreensão. Por meio dos processos de repetição e redundância planejados, muitos componentes dos processos neurais que estão envolvidos na aprendizagem tornam-se mais eficientes, dispensando menos energia, promovendo execução neural mais rápida e permitindo fluxos de informação para processamento cognitivo adicional (MOSCOVITCH *et al.*, 2006). Esse estudo demonstra a importância da procura por melhores e mais eficientes intervalos de revisão de conteúdos na educação médica.

Outro aspecto fundamental para os processos de atenção e consolidação da aprendizagem e memória são os mecanismos de recompensa e motivação (KANDEL *et al.*, 2014). O sistema de recompensa intrínseco do cérebro desempenha um papel

importante no reforço de comportamentos aprendidos e no cumprimento de metas a serem alcançadas e em objetivos concluídos. Em humanos foi observado que esse sistema utiliza circuitos neuronais capazes de calcular em tempo real, e nem sempre conscientemente, a recompensa em nível temporal, ou seja, calcula o valor relativo de uma escolha com recompensa e valor menor num futuro imediato versus uma recompensa de um valor maior no futuro mais distante (CHIU *et al.*, 2008). Observase, portanto, a importância em compreender e aplicar essas informações na estruturação de estratégias de ensino e distribuição de valores durante atividades direcionadas aos alunos.

A motivação em estudantes de medicina precisa ser ponto de atenção já que nem sempre sua obstinação em aprender é verdadeiramente motivada. Em muitos casos, observa-se que o principal motivador de aprendizagem nesses alunos limitase à determinação desesperada para obter um valor ou conceito alto, em notas, a qualquer custo. No entanto, é evidente que ao deixar de reconhecer as motivações complexas e multifacetadas que impulsionam os estudantes de medicina (e prémedicina), abre-se mão de oportunidades inestimáveis de elaborar o treinamento médico de modo a produzir profissionais apresentando competências e aptidões necessárias. Esses estudos podem ser difíceis e demorados, no entanto, contribuiriam para um currículo médico capaz de recompensar o verdadeiro amor pelo aprendizado e gerar estudantes de medicina que são genuinamente e internamente motivados a aprender (MISCH, 2002).

É muito importante compreender que os alunos de medicina são agentes racionais, com enormes demandas de seu tempo e atenção, e devem fazer escolhas sobre onde concentrar suas energias e atenção com mais eficiência. Assim, tanto no nível consciente quanto no inconsciente, seus cérebros estão se engajando em um processo contínuo de triagem para a alocação de recursos neurais limitados (FRIEDLANDER *et al.*, 2011; MOSCOVITCH *et al.*, 2006). Dessa forma, alunos que obtêm alegria e satisfação no sucesso por alcançar objetivos mais imediatos de compreensão, à medida que avançam em sua educação médica, podem ter uma chance maior de usar a capacidade do cérebro de fornecer sinais de recompensa de forma contínua, facilitando assim efetivamente seu processo de aprendizagem. Da mesma forma, os currículos e professores que fornecem ambientes, atividades e processos para explorar essa função biológica podem ser mais bem-sucedidos do que aqueles que dependem apenas de oportunidades de recompensa esparsamente

distribuídas e de alto risco (CHIU *et al.*, 2008; FRIEDLANDER *et al.*, 2011; MISCH, 2002).

Dentre os processos diretamente relacionados à tomada de decisões e à complexas interações cognitivas e emocionais, está a capacidade de visualizar fisicamente ou mentalmente um contexto. A visualização e o ensaio mental são processos biológicos com ativação padronizada e associada a diversos circuitos neurais dos sentidos especiais, motores e executivos (CUI *et al.*, 2007; GENTILI *et al.*, 2010).

O ato de visualização envolve não apenas as vias tálamo-corticais visuais primárias e associativas de ordem superior do cérebro humano, mas também fornece uma oportunidade para o desenvolvimento e refinamento de representações internas de objetos sólidos e complexos, evocação de memórias e emoções juntamente com sua localização relativa no espaço sendo, portanto, capaz de contribuir para os processos de aprendizagem (CUI *et al.*, 2007). Dessa forma, ambientes de laboratório e simulação são locais ricos para o processo de aprendizagem e para armazenamento de informações com base nessas experiências ativas. E o sucesso em fazer, aprender e visualizar aumenta a confiança, como foi demonstrado por estudos neurobiológicos sobre o desempenho humano durante a recuperação episódica de informações lembradas (PENNARTZ *et al.*, 2009).

Atualmente, a educação médica dispõe de uma infinidade de inovações tecnológicas para visualização e interação dos conteúdos, explorando de maneira muito importante esses processos neurais e favorecendo o desenvolvimento de habilidades de internalização. A introspecção e a autorreflexão são componentes importantes de qualquer processo de aprendizagem e mudança de comportamento, e podem contribuir para o fortalecimento de ações ou pensamentos ensaiados (RIVA, 2004). Na verdade, evidências neurobiológicas recentes sugerem que redes de "neurônios-espelho" no cérebro podem contribuir para tais processos (THIRIOUX *et al.*, 2009).

É evidente que todas as influências neurobiológicas positivas apontadas até agora nos processos de aprendizagem necessitam da oportunidade para participação individual plena, responsabilidade pessoal e *feedback*, endossando as abordagens mais interativas e heurísticas. Ao longo do processo de educação médica, as abordagens que criam oportunidades ativas e proporcionam ao aluno a autonomia para a discussão, em ambientes de aprendizagem físico ou virtuais, e que incentivem a interação/questionamento entre participantes e permitem aos alunos assumir a responsabilidade pessoal pela descoberta de informações e *feedback*, provavelmente,

invocarão os caminhos da motivação neural e da recompensa (FRIEDLANDER *et al.*, 2011). No entanto, esses processos também podem invocar outro componente biológico importante do processo de aprendizagem: o estresse. Embora as consequências do estresse sejam geralmente consideradas indesejáveis, há evidências de que os sinais moleculares associados ao estresse podem facilitar as modificações sinápticas que facilitem a ativação de circuitos cerebrais envolvidos na formação de memória e também podem ser um reforço comportamental para a aprendizagem (ROOZENDAAL *et al.*, 2009). No entanto, níveis muito altos de estresse podem ter efeitos opostos (CAZAKOFF; HOWLAND, 2009). Portanto, o estresse moderado a leve, comum a determinadas abordagens ativas, pode criar um ambiente que favoreça a consolidação do aprendizado, já que assim que o objetivo for alcançado, níveis de recompensa e motivação podem induzir ao desejo de maior envolvimento e revisão.

É comum que estudantes de medicina tenham prologados períodos de privação de sono, desencadeando altos níveis de estresse (FEILER; STABIO, 2018; MISCH, 2002). Há evidências crescentes da importância do sono e intervalos de descanso para a consolidação de memórias e o aprimoramento de suas representações internas de uma forma estável e em longo prazo (KANDEL *et al.*, 2014). Durante o sono, processos de representação mental das experiências vividas durante o dia são colocados em processamento para consolidação. Portanto, mais uma vez observa-se a importância em disponibilizar aos alunos dos cursos de medicina intervalos adequados entre sessões intensas de resolução de problemas e ambientes de grupo onde habilidades de raciocínio quantitativo sejam necessárias. Esse tempo de inatividade permite a consolidação ou reforço fora do processo de ensino formal, garante reforço positivo e motiva para a continuidade do processo de aprendizagem. Além dos períodos de privação de sono, outro detrator da educação médica que tem sido comum na nova geração de estudantes de medicina é a necessidade de resolver diversas tarefas ao mesmo tempo, a multitarefa. É praticamente universal o comportamento de enviar mensagens eletrônicas pelo celular enquanto leem ou se envolvem em outras formas de comunicação durante as aulas ou quando interagem com os pacientes (FRIEDLANDER *et al.*, 2011). Dados sobre distrações cognitivas durante a resolução de problemas ou atividades motoras demonstram que ações simultâneas, principalmente não relacionadas, não só diminuem o desempenho das habilidades e capacidades do indivíduo, como criam uma competição cognitiva entre

a atenção de um ou o outro processo, piorando o desempenho. Os processamentos cognitivos na educação médica são complexos, portanto, ao tentar discutir ou, mais importante, estimular um aluno a considerar um corpo de evidências sobre um processo biológico, um mecanismo de doença ou a proposta de uma terapia, o envolvimento de fluxos de informações adicionais, particularmente aqueles não relacionados ao tópico, diminui a probabilidade de alcançar a aprendizagem ideal e, subsequentemente, a compreensão plena e profunda sobre o assunto (FRIEDLANDER *et al.*, 2011; MISCH, 2002). Portanto, demonstra-se a importância de se pensar métodos educacionais que integrem informações multimodais relevantes ao tema, incentivando o envolvimento de mecanismos de informação convergentes relevantes, aumentando a atenção em vez de dispersá-la. Vale ressaltar também que, a disponibilização de informações de maneiras multimodais favorece contextos e formas de aprendizagem individuais, garantindo o respeito às particularidades de cada indivíduo e potencialmente trazendo mais áreas neurais para processar e armazenar informações.

Por fim, Friedlander e colaboradores (2011) apontam que conhecer as abordagens neurobiológicas não seja interessante apenas para os docentes, mas também para os alunos. A apresentação da forma com que os conteúdos serão ministrados e os motivos que levaram a escolha dessas abordagens, favorece a aceitação da estratégia, bem como o desenvolvimento de respeito mútuo com seus instrutores. Além disso, ao apelar não apenas para a capacidade dos alunos de obter prazer em aprender sobre medicina, mas também para sua capacidade intelectual de compreender a lógica do processo educacional ao qual ele está sendo submetido (com base em vários princípios, incluindo aqueles derivados dos princípios da neurobiologia de aprendizagem), pode servir como ativador do sistema de recompensa e contribuir para o aprimoramento do aprendizado.

CONCLUSÃO

Como observado nesse trabalho, o conhecimento sobre os processos que medeiam as mudanças no cérebro durante a aprendizagem e a memória, permitem endossar as abordagens ativas da andragogia e heutagogia. Esses achados podem auxiliar no comprometimento do corpo docente na implantação e consolidação das práticas ativas dentro do currículo médico, tornando-os comunicadores mais eficazes. No

entanto, apenas alguns aspectos foram, de fato, analisados sobre a ótica da educação e, portanto, ainda há muito a ser aprendido. E, mais importante, há uma necessidade de pesquisar sistematicamente os princípios neurobiológicos para otimizar a aprendizagem em ambientes do mundo real, dentro da continuidade da educação médica.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, R. R.; KOMATTIL, R. Heutagogic approach to developing capable learners. **Medical Teacher**, v. 39, n. 3, p. 295-9, 2016. DOI: 10.1080/0142159X.2017.1270433. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0142159X.2017.1270433?journalCode=imte20>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- BANSAL, A. *et al.* Students' perception regarding pedagogy, andragogy, and heutagogy as teaching-learning methods in undergraduate medical education. **Journal of Education and Health Promotion**, v. 9, 2020. DOI:10.4103/jehp.jehp_221_20. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7774633/>. Acesso em: 25 jul. 2021.
- BARRAS, C. Training the physician of the future. **Nature Medicine**, v. 25, n. 4, p. 532–4, 2019. DOI: 10.1038/s41591-019-0354-1. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41591-019-0354-1>. Acesso em: 25 jul. 2021.
- BLASCHKE, L. M. Heutagogy and lifelong learning: a review of heutagogical practice and self-determined learning. **The International Review of Research in Open and Distributed Learning**, v.13, n. 1, p. 56–71, 2012. DOI: 10.19173/irrodl.v13i1.1076.
- BOWERS, J. S. The practical and principled problems with educational neuroscience. **Psychological Review**, v. 123, n. 5, p. 600-12, 2016. DOI: 10.1037/rev0000025. Disponível em: <https://content.apa.org/record/2016-10827-001>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- CAZAKOFF, B. N.; HOWLAND, J. G. Acute stress disrupts paired pulse facilitation and longterm potentiation in rat dorsal hippocampus through activation of glucocorticoid receptors. **Hippocampus**, v. 20, p. 1327–1331, 2009. DOI: 10.1002/hipo.20738. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hipo.20738>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- CHIU, P. H.; LOHRENZ, T. M.; MONTAGUE, P. R. Smokers' brains compute, but ignore, a fictive error signal in a sequential investment task. **Nature Neuroscience**, v. 11, p. 514 –520, 2008. DOI: 10.1038/nn2067. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nn2067>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- CUI, X. *et al.* Vividness of mental imagery: Individual variability can be measured objectively. **Vision Research**, v. 47, p. 474–478, 2007. DOI:

10.1016/j.visres.2006.11.013. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042698906005566>. Acesso em:
26 jul. 2021.

DOMMETT, E. J. *et al.* From scientific theory to classroom practice. **The Neuroscientist**, v. 17, n. 4, 382e388, 2011. DOI: 10.1177/1073858409356111. Disponível em:
https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1073858409356111?url_ver=Z39.882003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%20pubmed. Acesso em: 26 jul. 2021.

FEILER, J. B.; STABIO, M. E. Three Pillars of Educational Neuroscience from Three Decades of Literature, **Trends in Neuroscience and Education**, v. 13, p. 17-25, 2018. DOI: 10.1016/j.tine.2018.11.001. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211949318300309>. Acesso em: 26 jul. 2021.

FULLER, J. K.; GLENDENING, J. G. The Neuroeducator: Professional of the Future, **Theory Into Practice**, v. 24, n. 2, p. 135-137, 1985. DOI: 10.1080/00405848509543161. Disponível em:
<https://psycnet.apa.org/record/198615603-001>. Acesso em: 26 jul. 2021.

GENTILI, R. *et al.* Motor learning without doing: Trial-by-trial improvement in motor performance during mental training. *J Neurophysiol*, v.104, n. 2, p. 774 –783, 2010. DOI: 10.1152/jn.00257.2010. Disponível em:
https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jn.00257.2010?rfr_dat=cr_pub++0pubmed&url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org. Acesso em: 26 jul. 2021.

GIEDD, J. N. *et al.* Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. **Nature Neuroscience**, v. 2, p. 861-3,1999. Disponível em:
https://www.nature.com/articles/nn1099_861. Acesso em: 26 jul. 2021.

GOSWAMI, U. Neuroscience and education: from research to practice? **Nature Reviews Neuroscience**, v. 7, n. 5, p. 406-13, 2006. DOI: 10.1038/nrn1907. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nrn1907>. Acesso em: 26 jul. 2021.
HASE, S.; KENYON, C. **From andragogy to heutagogy**. 2000. Disponível em:
<https://ictlogy.net/bibliography/reports/projects.php?idp=2869&lang=en>. Acesso em: 20 jul. 2021.

HASE, S.; KENYON, C. Heutagogy: a child of complexity theory. **Complicity**, v. 4, p. 111–8, 2007. DOI: 10.29173/cmplct8766.

HOWARD-JONES, P. A. *et al.* The principles and practices of educational neuroscience: Comment on Bowers. **Psychological Review**, v. 123, n. 5, p. 620-7, 2016. DOI: 10.1037/rev0000036. Disponível em:
<https://content.apa.org/record/201645433-003>. Acesso em: 26 jul. 2021.
HOWARD-JONES, P. **Neuroscience and Education: A Review of Educational Interventions and Approaches informed by Neuroscience**. 2014. Disponível em:

https://educationendowmentfoundation.org.uk/public/files/Presentations/Publications/EEF_Lit_Review_NeuroscienceAndEducation.pdf. Acesso em: 26 jul. 2021.

KANDEL, E.R. *et al.* **Princípios de Neurociências**. 5a ed. Porto Alegre: AMGH. 2014.

KNOWLES, M. S. **Self-directed learning**. A guide for teachers and learners. Chicago: Follet, 1975.

KNOWLES, M. S. **The adult learner**. 2 ed. Houston (TX): Gulf Publishing, 1978.

LEE, Y. S.; SILVA, A. J. The molecular and cellular biology of enhanced cognition. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 10, p. 126 –140, 2009. DOI: :10.1038/nrn2572. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nrn2572>. Acesso em: 26 jul. 2021.

LIAISON COMMITTEE ON MEDICAL EDUCATION. **Functions and Structure of a Medical School**: Standards for Accreditation of Medical Education Programs Leading to the MD Degree. 2017. Disponível em: https://medicine.vtc.vt.edu/content/dam/medicine_vtc_vt_edu/about/accreditation/2018-19_Functions-and-Structure.pdf. Acesso em: 26 jul. 2021.

MACHADO, C. D. B.; WUO, A.; HEINZLE, M. Educação Médica no Brasil: uma Análise Histórica sobre a Formação Acadêmica e Pedagógica. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 42, n. 4, p. 66-73, 2018. DOI: 10.1590/198152712015v42n4RB20180065. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbem/a/kj4F6KSJnvPfjJjLGhkPKqL/?lang=pt>. Acesso em: 26 jul. 2021.

MARESCHAL, D.; BUTTERWORTH, B.; TOLMIE, A. **Educational Neuroscience**. 1 ed. Wiley-Blackwell, 2013.

MISCH, D. A. Andragogy and Medical Education: Are Medical Students Internally Motivated to Learn? **Advances in Health Sciences Education**, v. 7, n. 2, p. 153–160, 2002. DOI: 10.1023/a:1015790318032.

MOSCOVITCH, M. *et al.* The cognitive neuroscience of remote episodic, semantic and spatial memory. **Current Opinions in Neurobiology**, v. 16, n. 2, p. 179 –190, 2006. DOI: 10.1016/j.conb.2006.03.013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959438806000389?via%3Diuhub>. Acesso em: 26 jul. 2021.

NAGY, Z.; WESTERBERG, H.; KLINGBERG, T. Maturation of white matter is associated with the development of cognitive functions during childhood. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v.16, n. 7, p. 1227-33, 2004. DOI: 10.1162/0898929041920441. Disponível em: <https://direct.mit.edu/jocn/article/16/7/1227/3907/Maturation-of-White-Matter-isAssociated-with-the>. Acesso em: 26 jul. 2021.

PENNARTZ, C. M. *et al.* Corticostriatal interactions during learning, memory processing, and decision making. **The Journal of Neuroscience**, v. 29, p. 12831–8, 2009. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.3177-09.2009. Disponível em: <https://www.jneurosci.org/content/29/41/12831.long>. Acesso em: 26 jul. 2021.

PHELPS, R.; HASE, S.; ELLIS, A. Competency, capability, complexity and computers: exploring a new model for conceptualizing end-user computer education. **British Educational Research Association**, v. 36, n. 1, p. 67–84, 2005. DOI: 10.1111/j.1467-8535.2005.00439.x. Disponível em: <https://berajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8535.2005.00439.x>. Acesso em: 26 jul. 2021.

RIVA, G. Applications of virtual environments in medicine. **Methods on Information in Medicine**, v. 42, p. 524–534, 2004.

ROEHRIG, G. H. *et al.* Teaching neuroscience to science teachers: facilitating the translation of inquiry-based teaching instruction to the classroom. **CBE Life Sciences Education**, v. 11, n. 4, 413-24, 2012. DOI: 10.1187/cbe.12-04-0045. Disponível em: https://www.lifescied.org/doi/10.1187/cbe.12-04-0045?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr_dat=cr_pub++0pubmed&. Acesso em: 26 jul. 2021.

ROOZENDAAL, B.; MCEWEN, B. S.; CHATTARJI, S. Stress, memory and the amygdala. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 10, p. 423–433, 2009. DOI: 10.1038/nrn2651. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nrn2651>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SANDRONE, S.; SCHNEIDER, L. D. Active and Distance Learning in Neuroscience Education. **Neuron**, v. 106, n. 6, p. 895-8. DOI: 10.1016/j.neuron.2020.06.001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089662732030430X>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SCHARF, M. T. *et al.* Protein synthesis is required for the enhancement of long-term potentiation and long-term memory by spaced training. **Journal of Neurophysiology**, v. 87, n. 6, p. 2770–77, 2002. DOI: 10.1152/jn.2002.87.6.2770. Disponível em: https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jn.2002.87.6.2770?rfr_dat=cr_pub++0pubmed&url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org. Acesso em: 27 jul. 2021.

SCHWARTZ, M. C. *et al.* Neuroscience knowledge enriches pedagogical choices. **Dubinsky Teaching and Teacher Education**, v. 83, 87e98, 2013. DOI: 10.1016/j.tate.2019.04.002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0742051X18313830>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SOTO, D. *et al.* Automatic guidance of attention from working memory. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 12, n. 9, p. 342–8, 2008. DOI: 10.1016/j.tics.2008.05.007. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S13646613\(08\)00176-9?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS1364661308001769%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S13646613(08)00176-9?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS1364661308001769%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em: 26 jul. 2021.

STAFFORD-BRIZARD, K. B.; CANTOR, P.; ROSE, L. T. Building the bridge between science and practice: essential characteristics of a translational framework. **Mind, Brain and Education**, v. 11, n. 4, p. 155-65, 2017. DOI: 10.1111/mbe.12153. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/mbe.12153>. Acesso em: 26 jul. 2021.

STOCKWELL, B.R. *et al.* Blended Learning Improves Science Education. **Cell**, v.162, p. 933–936, 2015. DOI: 10.1016/j.cell.2015.08.009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0092867415010223>. Acesso em: 26 jul. 2021.

THIRIOUX, B. *et al.* Walking on a line: A motor paradigm using rotation and reflection symmetry to study mental body transformations. **Brain and Cognition**, v. 70, p. 191–200, 2009. DOI: 10.1016/j.bandc.2009.02.006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278262609000256>. Acesso em: 26 jul. 2021.

TIERNEY, A. L.; NELSON, C. A. Brain Development and the Role of Experience in the Early Years. **Zero to three**, v. 30, n. 2, p. 9-13, 2009. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3722610/>. Acesso em: 26 jul. 2021.

ZADINA, J. N. The emerging role of educational neuroscience in education reform. **Psicología Educativa**, v. 21, n. 2, p. 71-7, 2015. DOI: 10.1016/j.pse.2015.08.005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1135755X15000214>. Acesso em: 26 jul. 2021.