

---

Recebido: 27-12-2020 | Aprovado: 21-05-2021 | DOI: <https://doi.org/10.23882/NE2142>

## Neuroeducação: a construir pontes entre a neurociência e a aprendizagem de Ciências

### Neuroeducation: building bridges between neuroscience and science learning

**Paula Cristina Pereira Costa**

Externato Ribadouro, Porto, Portugal (paula.costa@gmail.com)

**Resumo:** A sinergia entre educação e neurociência, também designada *neuroeducação*, não se alcança sem percalços nem barreiras, que surgem da ambição de articular duas linguagens, dois campos teóricos e duas áreas de investigação efetivamente distintas. Vários estudos têm vindo a ser realizados, no entanto, o número de pesquisas que se debruçam especificamente sobre os mecanismos cerebrais ligados à aprendizagem de ciências é ainda reduzido.

Neste artigo abordam-se algumas dessas investigações, particularmente a determinação do papel da inibição na aprendizagem e na concretização de mudanças conceptuais, assim como a implementação da aprendizagem espaçada. Da análise destes estudos, pode-se recolher algumas pistas acerca das estratégias mais adequadas para realizar uma aprendizagem efetiva e duradoura, nomeadamente a estimulação de processos de competição cognitiva entre os conceitos cientificamente corretos e os incorretos a par da memorização, que parece constituir-se como uma fase necessária para promover a mudança conceptual.

Não obstante, é fundamental ter em mente que não existem formulas mágicas e, que quando o tema é aprendizagem, não se poderá negligenciar a individualidade, nem as múltiplas dimensões dos contextos em que os alunos se inserem.

**Palavras-Chave:** aprendizagem espaçada, concepções alternativas, inibição, mudança conceptual

**Abstract:** The synergy between education and neuroscience, also called *neuroeducation*, cannot be achieved without obstacles and barriers, which arise from the ambition to articulate two languages, two theoretical fields and two effectively different research areas. Several studies have been carried out, however, the number of researches that specifically concern the brain mechanisms linked to science learning is still small.

In this work, some of these investigations are reviewed, particularly, the determination of the role of inhibition in learning and in the conceptual changes, as well as the implementation of spaced learning.

From the analysis of these studies, we can collect some clues about the most appropriate strategies to achieve effective and lasting learning, namely the stimulation of processes of cognitive competition between scientifically correct and incorrect concepts, alongside memorization, which seems to constitute itself as a necessary phase to promote conceptual change.

However, it is essential to keep in mind that there are no magic formulas, and that when the subject is learning, individuality and the multiple dimensions of the contexts in which students are inserted cannot be neglected.

**Keywords:** alternative conceptions, conceptual change, inhibition, spaced learning

### **Mudança conceptual e o fenómeno da inibição**

*Lou, um jovem de 13 anos, identificado na sua escola como sendo academicamente dotado, foi um dos doze alunos a participar numa aula especial. Foi pedido aos alunos que previssem e comparassem o tempo necessário para que dois cubos, um de plástico e outro de alumínio, com cerca de 2,5 cm de aresta, caíssem de uma altura de 2 metros. Lou respondeu: 'O mais pesado [alumínio] chegará lá primeiro'. Ele explicou a sua previsão, dando como exemplo o facto de ter, no passado, abandonado objetos de pesos diferentes de uma ponte, e ter visto que o mais pesado atinge o solo em primeiro lugar. Quando, na aula, os dois cubos foram abandonados simultaneamente, Lou afirmou que o cubo de alumínio atingiu o solo em primeiro lugar. No entanto, a maioria das pessoas presentes na sala viu os dois cubos atingirem o solo ao mesmo tempo. (...) Cerca de 30 minutos depois foi pedido aos alunos que classificassem, em verdadeiro ou falso, um conjunto de afirmações, e dessem a respetiva justificação. Uma delas foi: 'Dois objetos de massas diferentes levarão o mesmo tempo a cair da mesma altura'. A resposta de Lou foi 'Verdadeiro - Leis de Newton' (Gunstone & Watts, 1985, pp. 87,88) (tradução livre).*

Exemplos como os de Lou evidenciam a inconsistência entre o conhecimento teórico e a sua aplicação em situações reais e têm, frequentemente, a sua génese numa perceção errada dos fenómenos naturais (Gunstone & Watts, 1985). Estas conceções, designadas conceções erróneas ou alternativas, consistem em ideias erradas ou desajustadas com a realidade sobre fenómenos naturais e são, habitualmente, muito difíceis de alterar pelo que desempenham uma influência negativa na evolução da aprendizagem (Wenning, 2008). Um dos grandes desafios encontrados por qualquer professor, em particular nas disciplinas de física, química e biologia, é o desenvolvimento de estratégias que permitam identificar e, posteriormente, corrigir as conceções alternativas dos alunos, ou seja, a implementação de uma mudança conceptual efetiva (Dunbar et al., 2007).

Na física, a eletricidade e a mecânica são áreas frequentemente apontadas como problemáticas, devido às conceções erradas dos alunos (Çepni & Keleş, 2006; Driver et al., 2002; Hairan et al., 2019). A título de exemplo, um estudo realizado em Cabul, que envolveu 260 alunos do ensino secundário e 90 alunos do ensino universitário mostrou que, em particular, os alunos do secundário, apresentavam um número muito significativo de conceções erradas sobre diferentes tópicos da mecânica newtoniana, evidenciando dificuldades na compreensão qualitativa e conceptual de vários temas de física (Hairan et al., 2019). Masson e Foisy (2012a) dão ainda como exemplo que, mesmo após o ensino formal, 25% dos alunos do primeiro ano de um curso de física considera que o peso de um corpo, na ausência de resistência do ar, influencia o tempo de queda, sendo que defendem que o mais pesado deverá atingir o solo em primeiro lugar. Numa outra investigação, realizada na Turquia, que envolveu 250 alunos entre os 11 e os 22 anos, divididos em 5 níveis de escolaridade, desde o ensino básico até ao superior, pretendia-se analisar o nível de compreensão acerca de circuitos elétricos constituídos apenas por duas lâmpadas, uma pilha e fios de ligação. Um número muito significativo de estudantes demonstrou uma compreensão errada acerca do funcionamento de circuitos elétricos simples. A grande maioria dos alunos do 5º ano, com uma idade média de 11 anos, considerava que ligar apenas um fio diretamente à pilha, seria suficiente para completar o circuito, ignorando a necessidade de ligar os dois polos da pilha à lâmpada. Cerca de metade dos alunos do secundário, com idade média de 16 anos, e mais de 20% dos alunos do ensino universitário, acreditava que a intensidade da corrente elétrica diminuía ao passar pela lâmpada e que a corrente voltava depois à bateria através do outro fio, desconhecendo que a intensidade da corrente elétrica se conserva ao longo de todo o circuito (Çepni & Keleş, 2006).

Desta forma é claro que os alunos chegam ao ensino formal com conceções alternativas (Armagan et al., 2010), que se mantêm mesmo após a instrução formal. De facto, há várias evidências de que os estudantes universitários apresentam, muitas vezes, dificuldades conceituais e de raciocínio semelhantes às dos estudantes mais jovens (McDermott, 1997).

O interesse da comunidade científica pelas concepções alternativas dos alunos nos diferentes domínios da ciência, está estreitamente associado ao espoletar dos estudos acerca da mudança conceptual na aprendizagem, que ocorreu na década de 1970 (Potvin et al., 2020). Nas décadas de 1970 e 1980 a investigação centrou-se, fundamentalmente, na realização de inventários das concepções dos alunos em diferentes domínios. No entanto, os primeiros artigos revistos por pares, baseados na ideia de que a aprendizagem decorre do desenvolvimento conceptual ou da sua mudança, em vez de se tratar de um simples acréscimo de novas informações, terão sido publicados em 1982 por Posner et al. e por Nussbaum e Novick (McDermott, 1997; Potvin et al., 2020).

Entre estes, salienta-se o modelo de Posner et al. (1982) como um dos mais frequentemente mencionados e que recebeu maior apoio no que diz respeito a confirmação empírica pelos pares. Apesar de o número de menções explícitas ter vindo a diminuir, continua a ser um trabalho popular, o que, aliado ao facto de ter sido um dos primeiros a ser desenvolvido, justifica uma breve descrição deste *modelo geral de mudança conceptual* (Potvin et al., 2020).

Posner et al. (1982) desenvolveram um *modelo geral de mudança conceptual* no qual fazem um paralelismo entre as teorias de construção do conhecimento científico, defendidas por Thomas Kuhn (1962) e Imre Lakatos (1978) e a teoria de desenvolvimento de Piaget, em particular as noções de assimilação e de acomodação (Piaget, 1970). Neste modelo, o aluno é visto como um cientista e o processo de aprendizagem de ciência é semelhante ao da própria construção da ciência, sendo o conflito cognitivo a estratégia de aprendizagem por excelência para promover a mudança conceptual (Vosniadou, 2009). Assim, Posner et al. (1982) definiram duas fases distintas para que ocorra a mudança conceptual - *assimilação* e *acomodação*. A assimilação é o processo que permite aos alunos explicar novos fenómenos, recorrendo aos seus próprios conceitos pré-existentes. Do ponto de vista da aprendizagem, estes conceitos pré-existentes são fundamentais, pois sem eles não seria possível ao aluno formular questões, definir a validade das suas respostas, nem distinguir os aspetos relevantes dos ir-

relevantes. No entanto, os conceitos dos alunos são frequentemente desafiados, não permitindo explicar determinados fenómenos. Assim, é necessário que o aluno reestruture e substitua os seus conceitos por outros novos, num processo designado *acomodação* (Posner et al., 1982).

O modelo de Posner et al. (1982) é considerado uma abordagem clássica à mudança conceptual, tendo sido o paradigma dominante durante vários anos (Vosniadou, 2009), apoiado na visão construtivista de Piaget. Assim a aprendizagem apenas poderá ocorrer se o desenvolvimento de estruturas mais complexas se apoiarem em estruturas mais simples, e não basear-se apenas em estímulos provocados por um professor, um adulto ou qualquer outro fator externo. Nesta perspetiva, se uma estrutura se desenvolve espontaneamente, e uma vez atingido o estado de equilíbrio, esta será duradoura e vai manter-se durante toda a vida da criança. Como retorquiu a Piaget um menino de 5 anos “uma vez que sabes, sabes para sempre” (Piaget, 1964, p. 184).

Durante a década de 1990 e o início da década de 2000, os investigadores perceberam que as questões levantadas pela abordagem clássica deveriam ser muito mais abrangentes e relacionar-se com a natureza dos conceitos e com os processos de mudança conceptual (Vosniadou, 2009), tendo desenvolvido modelos emblemáticos como o de Chi et al. (1994), Vosniadou (1994) e diSessa (1993).

Atualmente, tem-se vindo a adotar uma visão sistémica que conjuga vários elementos do conhecimento com vários níveis de análise. Ou seja, a mudança conceptual é agora vista como uma teia complexa que envolve representações internas e externas dos indivíduos e são influenciadas pelas interações com outras pessoas (Amin et al., 2014; Potvin et al., 2020).

Nos últimos anos, para além dos estudos na área das ciências da educação, da psicologia cognitiva e da investigação no ensino de física, a mudança conceptual foi alvo de estudos, também, na área na neuroeducação (Dunbar et al., 2007; Masson & Foisy, 2012a). Não é necessário o parágrafo

Em particular, as investigações realizadas por Dunbar et al. (2007), por Masson e Foisy (2012a, 2012b) e por Nenciovici et al. (2018), constituem-se como

um passo na direção de alcançar uma melhor compreensão sobre os processos que promovem as mudanças conceptuais.

Dunbar et al. (2007) conduziram uma série de experiências com o objetivo de compreender por que razão existe tanta resistência na concretização das mudanças conceptuais e que estratégias serão indicadas para as promover. Para isso, utilizaram a técnica de ressonância magnética funcional (1) (fMRI) tendo observado que, quando os dados eram consistentes com as teorias defen-

didadas pelos indivíduos, as principais áreas ativadas no cérebro estavam relacionadas com a aprendizagem, nomeadamente o caudado e o giro para-hipocampal mas, quando os dados eram inconsistentes com as suas teorias, as zonas mais ativadas foram o córtex cingulado anterior, o giro pré-cúneus e o córtex pré-frontal dorsolateral. O córtex cingulado anterior é uma região do cérebro que se associa, geralmente, à deteção de conflitos cognitivos e de erros e, juntamente com o córtex pré-frontal, ao fenómeno da inibição (Dunbar et al., 2007; Masson & Foisy, 2012a), ou seja, a capacidade que certos neurónios possuem de evitar a excitação de outros neurónios (Masson & Foisy, 2012b) através da ação de sinapses inibitórias (Bear et al., 2007). O córtex cingulado anterior e o córtex pré-frontal trabalham em conjunto, sendo o primeiro responsável pela deteção de uma singularidade que necessita de atenção e o segundo responsável pela sua inibição (Masson & Foisy, 2012a). Por sua vez, o córtex pré-frontal dorsolateral estará relacionado com a memória de trabalho e com processamento mais exigente de informação (Dunbar et al., 2007). Estes resultados estão descritos de forma sintetizada na figura 1.

<sup>1</sup> A ressonância magnética funcional é muito utilizada na investigação em neurociência pois é não-invasiva e não utiliza radiação. Esta tecnologia de imagiologia cerebral baseia-se no facto de que quando uma parte do cérebro fica mais ativa necessita de uma maior quantidade de oxigénio, que é transportado para o cérebro através da hemoglobina. Como a hemoglobina contém ferro utiliza-se um grande íman para comparar a quantidade de hemoglobina oxigenada que entra nas células com a de hemoglobina desoxigenada que sai. O computador acentua no cérebro as regiões que recebem sangue mais oxigenado, localizando assim as regiões mais ativas do cérebro com uma precisão até 1 cm. Sousa, D. A. (2016). *How the brain learns*. Corwin Press.

### Figura 1

Relação entre as funções cognitivas e as áreas ativadas no cérebro dos indivíduos



Nota. Esquema baseado nos estudos de Dunbar et al. (2007) e Masson e Foisy (2012a, 2012b).

Assim, Dunbar et al. (2007) concluíram que as dificuldades da realização de uma mudança conceptual estão relacionadas com o facto de que a aprendizagem se torna mais difícil quando os indivíduos têm de integrar informação inconsistente com as suas ideias anteriores, pois estas são interpretadas primeiramente como erros. Este estudo vem demonstrar que confrontar os alunos apenas com situações que corrigem as concepções alternativas, não será suficiente, pois estas são interpretadas pelo cérebro como anomalias, dificultando a aprendizagem (Dunbar et al., 2007).

De forma a compreender se as concepções alternativas dos alunos se modificam após a aprendizagem, ou seja, após ocorrer uma mudança conceptual, um grupo de investigadores da Universidade do Québec, em Montreal, realizou duas experiências, uma sobre mecânica e outra sobre circuitos elétricos, através do recurso à técnica de fMRI. Os dados obtidos permitiram comparar a atividade cerebral de indivíduos que possuíam, sistematicamente, concepções alternativas sobre tópicos de física, designados *aprendizes* (um grupo de estudantes universitários de áreas não relacionadas com ciência) com a atividade cerebral de indivíduos que pareciam não possuir concepções erradas, os *peritos* (estudantes universitários de física que responderam corretamente a mais de 90% das questões de física realizadas num pré-teste) (Masson & Foisy, 2012a, 2012b).

Na experiência sobre os tópicos de mecânica os alunos tinham de decidir sobre a validade de alguns vídeos, sendo que uns descreviam movimentos consentâneos com as leis newtonianas, que mostravam que o tempo de queda dos corpos é independente da sua massa, na ausência de resistência de ar, e outros que apelavam às concepções alternativas, mostrando que os corpos de maior massa apresentam tempos de queda menores que os corpos de menor massa. Os resultados obtidos mostraram que nos peritos o córtex pré-frontal, associado à inibição, apresentou uma ativação mais pronunciada do que nos aprendizes (Masson & Foisy, 2012a).

Na experiência sobre circuitos elétricos foi pedido tanto aos aprendizes como aos peritos que avaliassem a correção de imagens de alguns circuitos constituídos por uma pilha, duas lâmpadas e fios elétricos. As imagens obtidas através da fMRI permitiram observar

que, quando os circuitos estão errados, apelando às concepções alternativas mais comuns, como por exemplo um circuito em que se utiliza um só fio para acender uma lâmpada, as regiões do córtex pré-frontal e do córtex cingulado anterior são mais ativas nos peritos do que nos aprendizes (Masson & Foisy, 2012b).

Da análise destes dois estudos é possível concluir que, quando confrontados com situações desafiantes, em que as concepções corretas são incitadas pelas concepções alternativas, o córtex cingulado anterior e, particularmente, o córtex pré-frontal, são mais ativados nos peritos do que nos aprendizes. Este facto é um importante indicador de que a inibição desempenha um papel relevante na aprendizagem e na mudança conceptual (Masson & Foisy, 2012a, 2012b). Porém, é importante ressaltar que na experiência de mecânica não ocorreu uma diferença significativa entre peritos e aprendizes na ativação do córtex cingulado anterior. Apesar de esta investigação não permitir identificar uma justificação para esta diferença, os autores apontam que poderá ser plausível considerar que é mais fácil para os peritos identificar “armadilhas” nos domínios da mecânica do que nos de eletricidade (Masson & Foisy, 2012a). No caso da investigação sobre eletricidade, os autores consideram que a ativação pronunciada no córtex cingulado anterior e do córtex pré-frontal nos peritos poderá ter duas explicações possíveis. Por um lado, poderá estar relacionada com o facto de os estudantes serem constantemente confrontados com situações em que um só fio parece ser suficiente para completar um circuito, reforçando esta concepção errada nas redes neuronais. Por outro lado, a justificação poderá estar associada aos “modelos de mudança conceptual que postulam que as concepções são formadas a partir de mecanismos espontâneos de interpretação” assim, como a utilização de um só fio parece ser passível de ter aplicação em diferentes situações do quotidiano, as concepções espontâneas são reforçadas (Masson & Foisy, 2012b, p. 17).

Um outro estudo realizado por Nenciovici et al. (2018), também no Québec, baseou-se nas investigações de Masson e Foisy descritas anteriormente, para estudar os mecanismos cerebrais que estão na origem das mudanças conceptuais. Assim, à semelhança dos estudos anteriores, foram selecionados estudantes universitários do sexo masculino, da área das humanida-

des, considerados aprendizes, por apresentarem concepções erradas acerca de diferentes tópicos de eletricidade e de mecânica. Os aprendizes foram submetidos a um pré-teste, frequentaram algumas aulas de física e, após terem sido capazes de fornecer respostas cientificamente corretas, foram submetidos a um pós-teste. A técnica utilizada foi a fMRI, tendo estado envolvidos 22 alunos na análise das questões sobre eletricidade e 16 alunos sobre mecânica. Os investigadores observaram que não ocorreu uma ativação significativa nem do córtex cingulado anterior nem do córtex pré-frontal, como ocorreu com peritos dos estudos anteriores. Assim, poder-se-á considerar que a simples correção do erro não será suficiente para promover uma verdadeira mudança conceptual (Nenciovici et al., 2018). De facto, as regiões cerebrais que demonstraram uma maior ativação foram o giro angular esquerdo/lóbulo parietal inferior, que estão relacionadas com a recuperação da memória, “documentada pela teoria da memória episódica”. A memória episódica refere-se à recuperação do conteúdo de um evento experienciado no passado, baseado na recuperação de informação num contexto específico acerca desse evento, como “detalhes espaciais e temporais, percepções somatossensoriais ou emoções sentidas durante esse evento” (Nenciovici et al., 2018, p. 131).

Estes resultados vão ao encontro de alguns modelos de alteração conceptual recentes, que parecem indicar que a memorização de conceitos científicos se constitui como uma fase necessária para que ocorra uma mudança conceptual, que apenas será atingida através de um processo de competição cognitiva entre o conceito cientificamente correto e o incorreto (Nenciovici et al., 2018).

Todas estas investigações constituem-se como passos fundamentais na direção de alcançar uma melhor compreensão sobre os mecanismos cerebrais associados às mudanças conceptuais e, em particular, do papel da inibição e da memória na aprendizagem de diferentes tópicos de física. Estes resultados apontam para a importância de não negligenciar as concepções espontâneas dos alunos durante o processo de ensino-aprendizagem, e do desenvolvimento de ferramentas que permitam aos alunos fortalecer competências inibitórias das suas concepções prévias (Dunbar et al., 2007; Masson & Foisy, 2012a; Nenciovici et al., 2018).

### Aprendizagem espaçada

A expressão *spaced learning*, que poderá ser traduzida para *aprendizagem espaçada* (AE) (Pinto, 2001), refere-se a uma estratégia de aprendizagem que se baseia no princípio de que a reprodução de um dado assunto é facilitada, de uma forma geral, pela realização de repetições frequentes desse mesmo assunto. Ou seja, para que um indivíduo memorize um determinado conteúdo, por exemplo, um poema, um discurso ou até vocabulário, não é suficiente que contacte com esse conteúdo uma única vez, de uma forma geral, necessitará de repeti-lo para assegurar a sua memorização e reprodução durante um longo período de tempo (Ebbinghaus, 2013).

De facto, aprendizagem e memória, são dois lados da mesma moeda, não é possível existir aprendizagem sem memória, nem memória sem aprendizagem. Assim, aprendizagem e memória são, em si mesmas, um processo que implica várias fases: codificação da informação; armazenamento e consolidação da informação durante um certo intervalo de tempo e evocação, ou seja, a capacidade de recuperar a informação anteriormente armazenada (Dierssen, 2018; Kohli et al., 2019). Numa perspetiva temporal, distinguem-se na literatura quatro níveis fundamentais de memória: a memória sensorial ou imediata, que tem uma duração de alguns segundos; a memória a curto prazo, que permite o armazenamento de informação até entre 20 e 30 segundos; a memória de trabalho, que é frequentemente considerada como sinónimo de memória a curto prazo, mas que desempenha funções mais complexas, pois além do armazenamento, também organiza, recupera a informação e permite antecipar eventos; e, finalmente, a memória a longo prazo que será o nível final, onde a informação é armazenada por períodos indefinidos. A informação tem de entrar na memória de trabalho antes de ser armazenada na memória a longo prazo, e essa é uma das funções fundamentais da educação (García, 2018; Kohli et al., 2019)

No âmbito da neurociência têm sido realizados vários estudos no sentido de compreender uma questão fulcral que é a determinação de quais os processos biofísicos e bioquímicos que permitem transformar a memória a curto prazo em memória a longo prazo (Kelley, 2008, p. 151) e, também, qual a base biológica da AE (O'Hare et al., 2017).

Em fevereiro de 2005, R. Douglas Fields publicou na revista *Scientific American*, um artigo onde descreve os processos através dos quais uma memória se torna permanente ou é esquecida em poucos minutos. Para isso utilizou uma porção do hipocampo de um rato, que foi mantida com vida numa solução salina, para estudar o processo bioquímico que explica de que forma as ligações sinápticas entre neurónios se fortalecem, criando as memórias a longo prazo. Fields e a sua equipa, recorreram a uma técnica que permite simultaneamente provocar e gravar impulsos elétricos resultantes de ligações sinápticas individuais num neurónio.

Uma forma de fortalecer uma ligação sináptica é recorrer à aplicação de estímulos elétricos de elevada frequência a uma sinapse, fazendo com que esta dispare num padrão específico. Ou seja, depois de receber os estímulos de alta frequência, a sinapse produz, aproximadamente, o dobro da tensão em resposta a novos estímulos idênticos. No entanto, poucas horas após a aplicação dos estímulos, a tensão produzida pela sinapse vai lentamente diminuindo, até voltar aos valores originais. Este fortalecimento temporário da sinapse é o modelo celular para a memória a curto prazo. Na experiência realizada por Fields (2005) aplicou-se três vezes consecutivas o mesmo estímulo de alta frequência, variando os intervalos temporais de inatividade entre os estímulos. O que observaram foi que, quando os períodos de inatividade eram de 10 minutos, as sinapses ficavam fortalecidas permanentemente. O tempo é assim um fator fundamental para que a memória passe de curto a longo prazo. Deste modo, desde que o evento seja suficientemente importante ou repetido o número de vezes necessário, em intervalos temporais adequados, as sinapses disparam, fazendo com que o neurónio por sua vez dispare repetidamente impulsos fortes, identificando que esse evento deverá ser recordado (Fields, 2005).

Em 2012 foi realizada uma experiência semelhante à de Fields mas em que se aumentou o intervalo entre estímulos, tendo-se verificado que as sinapses ficaram duas vezes mais fortes, para intervalos de 60 minutos em comparação com intervalos de 10 ou 30 minutos (Kramár et al., 2012).

De uma forma geral, podemos observar que existem evidências fisiológicas de que a AE poderá estimular a formação de memórias a longo prazo. O princípio

da AE é suportado por evidências das áreas científicas da neurociência e da psicologia cognitiva, no entanto, a literatura destas áreas tem apontado para a utilização de diferentes intervalos de tempo entre aprendizagens<sup>(2)</sup> (IEA) de forma a otimizar a aprendizagem (O'Hare et al., 2017).

Apesar de existir pouca informação acerca deste efeito em humanos (O'Hare et al., 2017), alguns trabalhos já foram desenvolvidos na área da aprendizagem que serão analisados de seguida.

Paul Kelley (2008), baseando-se no trabalho de Fields (2005), que sugere um intervalo de 10 minutos entre estímulos, decidiu aplicar este método ao contexto da educação. Desta forma, em conjunto com Angela Bradley, uma professora de ciências, desenhou uma aula de 1h sobre o coração humano, dividida em três sessões de exploração de temas sobre o coração, separadas por intervalos de 10 minutos. Na tabela 1 (página seguinte) está descrito um modelo típico de aplicação da AE na sala de aula e a sua relação com os conceitos da neurociência que sustentam esta abordagem.

Os investigadores tentaram garantir que os estímulos oferecidos nas três sessões fossem similares, mas assegurando que a mesma informação era abordada de várias formas diferentes.

Os intervalos foram preenchidos com atividades físicas não relacionadas com ciência, de forma a evitar que a mesma área do cérebro fosse estimulada (Kelley, 2008). Neste estudo estiveram envolvidos cerca de 80 alunos, entre os 14 e os 15 anos, tendo concluído que os alunos aprenderam de forma eficaz os conteúdos abordados e, além disso, consideraram a aula interessante, apesar de invulgar.

Posteriormente, desenharam uma outra experiência para a aprendizagem de resistência bacteriana e evolução. Esta experiência incluía três abordagens diferentes, nomeadamente: tradicional; espaçada e espaçada com intervalos de ensino tradicional.

---

<sup>2</sup> IEA (intervalo entre aprendizagens) é o intervalo de tempo que separa diferentes episódios de estudo sobre o mesmo assunto. Cepeda, N. J., Pashler, H., Vul, E., Wixted, J. T., & Rohrer, D. (2006). Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis. *Psychol Bull*, 132(3), 354-380. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.3.354>



**Tabela 1**  
*Modelo de aplicação da AE*

Momento da aula	Abordagem didática	Fundamentação da neurociência
1ª sessão	O professor fornece toda a informação acerca dos conteúdos que os alunos devem aprender durante a aula, usando uma linguagem técnica adequada ao tema que está a ser abordado.	Durante esta sessão os mecanismos neuronais começam a criar memória.
1º intervalo	Não deve ter nenhuma relevância para o assunto tratado na aula.	Manter inativos os estímulos relacionados com os mecanismos de memória iniciados na sessão anterior
2ª sessão	O professor revê os conteúdos da primeira sessão, recordando os conceitos chave, despertando memórias e alterando a forma de apresentar o conteúdo, e verificando quais as informações que os alunos retiveram da primeira sessão.	A estimulação deverá agora afetar os mesmos mecanismos neuronais da primeira sessão, reforçando a sua importância para o cérebro.
2º intervalo	Semelhante ao 1º intervalo.	
3ª sessão	O professor propõe que os alunos realizem atividades de treino ou de resolução de situações-problema, relacionadas com o tema abordado nas sessões anteriores.	

Nota. Adaptado de “Spaced learning and innovative teaching: school time, pedagogy of attention and learning awareness” por Garzia, M., Mangione Giuseppina, R., Longo, L., & Pettenati Maria, C., 2016, *Research on Education and Media*, 8(1)

A última abordagem tinha como objetivo verificar se os intervalos de ensino tradicional, numa abordagem espaçada, poderiam interferir com as alterações sinápticas. Para limitar as variáveis, as aulas eram dadas aos três grupos no mesmo dia e no mesmo período, por professores que habitualmente não lecionavam estas aulas. Duas semanas depois das aulas os alunos foram todos submetidos a um pós-teste. Os resultados obtidos sugerem que a AE foi a abordagem mais eficaz na aprendizagem dos conceitos. No entanto, os resultados mais interessantes são os obtidos para a terceira abordagem, que mistura a AE com a aprendizagem tradicional nos intervalos. De facto, a sua eficácia foi semelhante à da abordagem tradicional, o que leva a concluir que os intervalos de aprendizagem tradicional interferiram com a eficácia do processo, o que vai ao encontro do modelo defendido pela neurociência (Kelley, 2008).

No seu estudo, Kelley (2008) salienta que, apesar de estes resultados não serem conclusivos, parecem sugerir que o método da AE funciona e, por isso, fará sentido continuar a investigar de que formas as ideias da neurociência poderão contribuir para melhorias dos processos de aprendizagem.

#### **Considerações finais**

A *neuroeducação* tem como objetivos centrais a compreensão dos processos bioquímicos e biofísicos envolvidos na aprendizagem, nos mecanismos de controlo cognitivo e da motivação, assim como a compreensão de como se “aprende a aprender” (Schwartz, 2015; The Royal Society, 2011). Desta forma, o verdadeiro foco da neuroeducação será recorrer aos avanços da neurociência, nos domínios da memória, da atenção e do raciocínio, e transformá-los em novas estratégias e abordagens passíveis de serem



usadas na sala de aula, ao promover uma maior compreensão dos processos cognitivos e neuronais relacionados com a aprendizagem (Dunbar et al., 2007; Feiler & Stabio, 2018).

No entanto, o número de pesquisas que abordam especificamente os mecanismos cerebrais ligados à aprendizagem de ciências é ainda pequeno. Neste trabalho abordaram-se alguns dos estudos, realizados nos últimos 15 anos, acerca da aplicação do corpo de conhecimento das neurociências, na determinação do papel da inibição e da memória na aprendizagem e na concretização de mudanças conceptuais, assim como na implementação da aprendizagem espaçada enquanto estratégia de aprendizagem. Da análise destas investigações, pode-se recolher algumas pistas acerca das estratégias mais adequadas para realizar uma aprendizagem efetiva e duradoura.

A visão construtivista clássica, que pensa a mudança conceptual como uma mera substituição de conceitos errados por conceitos corretos tem sido sistematicamente desafiada. Exemplo disso são os resultados das investigações descritas neste artigo, desenvolvidas por Dunbar et al. (2007); (Masson & Foisy, 2012a; Nenciovici et al., 2018).

Apesar da origem das concepções alternativas estar ainda longe de ser totalmente clarificada, é possível identificar algumas fontes, que são sugeridas por Lee et al. (2005), nomeadamente a impressão sensorial, a linguagem do quotidiano, estruturas inatas do cérebro e o ambiente social do aluno. Por outro lado, a grande complexidade dos fenómenos naturais também poderá influenciar o desenvolvimento e manutenção das concepções alternativas. Quando se estudam fenómenos naturais, existe muito frequentemente a necessidade de proceder a aproximações e à criação de modelos que simplificam os processos (Ferreira et al., 2019). Acontece que, quando observamos estes fenómenos na vida real, não há lugar a simplificações (Ferreira et al., 2019), criando-se assim um conflito entre o que foi aprendido e o que é observado no quotidiano. Por isso, a simples correção do erro ou confronto com si-

tuações que corrigem as concepções alternativas não será suficiente, pois estas são interpretadas pelo cérebro como anomalias, dificultando a aprendizagem (Dunbar et al., 2007; Nenciovici et al., 2018). Neste ponto, a inibição parece desempenhar um papel muito relevante na aprendizagem e na mudança conceptual. Quando os peritos são confrontados com situações desafiadas, são frequentemente ativadas zonas do cérebro relacionadas com a deteção de inconsistências e com a sua inibição. Assim, há evidências de que as concepções alternativas não terão sido substituídas pelas concepções cientificamente corretas, mas o que ocorre é na realidade a inibição das concepções erradas, o que conduz à resposta certa (Masson & Foisy, 2012a, 2012b). Assim, será fundamental deixar de encarar as concepções dos alunos como um entrave à aprendizagem, e transformá-las em instrumentos promotores da aprendizagem, como defendido por Potvin et al. (2020), desenvolvendo estratégias e ferramentas que promovam a inibição das concepções alternativas.

A par da inibição, também a memorização dos conceitos científicos se parece constituir como uma fase necessária para que ocorra a mudança conceptual (Nenciovici et al., 2018), para além disso, aprendizagem e memória são, de facto indissociáveis (Dierssen, 2018; Kohli et al., 2019).

Neste contexto, os estudos acerca da aprendizagem espaçada, em que se aplica com sucesso o corpo de conhecimento da neurociência ao contexto da aprendizagem, mostra que existe um caminho para ser trilhado que aproxima estas duas áreas. Porém, é fundamental ter em mente que não existem formulas mágicas, e que quando o tema é aprendizagem, não se poderá negligenciar a individualidade, nem as múltiplas dimensões dos contextos em que os alunos se inserem.

Finalmente, e apesar de existir alguma investigação que une a neurociência à educação, é fundamental que se continue a aplicar as evidências da neurociência nas salas de aula e que os professores e neurocientistas comuniquem com maior frequência, trabalhando em conjunto, em prol do progresso da educação e da sociedade.

## Referências

- Amin, T., Smith, C., & Wiser, M. (2014). Student Conceptions and Conceptual Change: Three Overlapping Phases of Research. In.
- Armagan, F. O., Keskin, M. O., & Akin, B. S. (2010). Effectiveness of conceptual change texts: a Meta analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 9, 1574-1579. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.12.367>
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2007). *Neuroscience: exploring the brain* (3 ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Cepeda, N. J., Pashler, H., Vul, E., Wixted, J. T., & Rohrer, D. (2006). Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis. *Psychol Bull*, 132(3), 354-380. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.3.354>
- Çepni, S., & Keleş, E. (2006). Turkish students' conceptions about the simple electric circuits. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4(2), 269-291. <https://doi.org/10.1007/s10763-005-9001-z>
- Chi, M., Slotta, J., & De Leeuw, N. (1994). From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning Instructional Science*, 4(1), 27-43.
- Dierssen, M. (2018). *Como aprende (e recorda) o cérebro? Princípios da neurociência para aplicar à educação* (P. Nascimento, Trans.; A. C. Caldas, Ed.). Atlântico Press.
- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(2-3), 105-225. <https://doi.org/10.1080/07370008.1985.9649008>
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (2002). *Children's ideas in science*. Open University Press.
- Dunbar, K., Fugelsang, J. A., & Stein, C. (2007). Do naïve theories ever go away? Using brain and behavior to understand changes in concepts. In M. C. Lovett & P. Shah (Eds.), *Carnegie Mellon symposia on cognition. Thinking with data* (pp. 193-205). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Ebbinghaus, H. (2013). Memory: a contribution to experimental psychology. *Annals of Neurosciences*, 20(4), 155-156. <https://doi.org/10.5214/ans.0972.7531.200408>
- Feiler, J. B., & Stabio, M. E. (2018). Three pillars of educational neuroscience from three decades of literature. *Trends in Neuroscience and Education*, 13, 17-25.
- Ferreira, A., Lemmer, M., & Gunstone, R. (2019). Alternative conceptions: turning adversity into advantage. *Research in Science Education*, 49(3), 657-678. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9638-y>
- Fields, R. (2005). Making memories stick. *Scientific American*, 292, 75-81. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0205-74>
- García, E. G. (2018). *Somos a nossa memória. Recordar e esquecer* (I. Figueiras, Trans.; A. C. Caldas, Ed.). Atlântico Press.
- Gunstone, R., & Watts, M. (1985). Force and Motion. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science*. McGraw-Hill Education.
- Hairan, A. M., Abdullah, N., & Husin, A. H. (2019). Conceptual understanding of newtonian mechanics among afghan students. *European Journal of Physics Education*, 10(1), 1-1-12. <https://eric.ed.gov/contentdelivery/servlet/ERICServlet?accno=EJ1231109>
- Kelley, P. (2008). *Making minds: what's wrong with education, and what should we do about It?* Routledge.
- Kohli, S., Sukumar, A. K., Zhen, C. T., Yew, A. S. M., & Gomez, A. A. (2019). Dental education: Lecture versus flipped and spaced learning. *Dental Research Journal*, 16(5), 289 - 297. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.266090>
- Kramár, E. A., Babayan, A. H., Gavin, C. F., Cox, C. D., Jafari, M., Gall, C. M., Rumbaugh, G., & Lynch, G. (2012). Synaptic evidence for the efficacy of spaced learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(13), 5121-5126. <https://doi.org/10.1073/pnas.1120700109>

- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions* (Vol. 1-2). University of Chicago Press.
- Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes* (Vol. 1). Cambridge University Press.
- Lee, G., Shin, J., Park, J., Song, S., Kim, Y., & Bao, L. (2005). Alternative conceptions, memory, & mental models in physics education. *AIP Conference Proceedings*, 790(1), 165-168. <https://doi.org/10.1063/1.2084727>
- Masson, S., & Foisy, L.-M. B. (2012a). Faut-il apprendre à inhiber ses préconceptions pour apprendre la physique mécanique? *Spectre*, 42(1), 18-21.
- Masson, S., & Foisy, L.-M. B. (2012b). Les conceptions erronées des élèves en électricité ne disparaissent peut-être jamais de leur cerveau. *Spectre*, 42(1), 15-17.
- McDermott, L. C. (1997). *Students' conceptions and problem solving in mechanics*. (A. Tiberghien, E. L. Jossem, & J. Barojas, Eds.). International Commission on Physics Education.
- Nenciovici, L., Brault Foisy, L.-M., Allaire-Duquette, G., Potvin, P., Riopel, M., & Masson, S. (2018). Neural correlates associated with novices correcting errors in electricity and mechanics. *Mind, Brain, and Education*, 12(3), 120-139. <https://doi.org/10.1111/mbe.12183>
- O'Hare, L., Stark, P., McGuinness, C., Biggart, A., & Thurston, A. (2017). *Spaced learning: The design, feasibility and optimisation of SMART spaces* [Evaluation report and executive summary]. <https://eric.ed.gov/contentdelivery/servlet/ERICServlet?accno=ED581430>
- Piaget, J. (1964). Part I: Cognitive development in children: Piaget development and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 2(3), 176-186. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.3660020306>
- Piaget, J. (1970). Piaget's Theory (G. Gellerier & J. Langer, Trans.). In P. H. Mussen (Ed.), *Carmichael's Manual of Child Psychology* (3 ed., Vol. 1, pp. 702-732). Wiley.
- Pinto, A. (2001). Memória, cognição e educação: implicações mútuas. In *Educação, cognição e desenvolvimento: textos de psicologia educacional para a formação de professores* (pp. 17-54).
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66(2), 211-227.
- Potvin, P., Nenciovici, L., Malenfant-Robichaud, G., Thibault, F., Sy, O., Mahhou, M. A., Bernard, A., Allaire-Duquette, G., Blanchette Sarrasin, J., Brault Foisy, L.-M., Brouillette, N., St-Aubin, A.-A., Charland, P., Masson, S., Riopel, M., Tsai, C.-C., Bélanger, M., & Chastenay, P. (2020). Models of conceptual change in science learning: establishing an exhaustive inventory based on support given by articles published in major journals. *Studies in Science Education*, 1-55. <https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1744796>
- Schwartz, M. (2015). Mind, Brain and Education: A Decade of Evolution. *Mind, Brain, and Education*, 9(2), 64-71. <https://doi.org/10.1111/mbe.12074>
- Sousa, D. A. (2016). *How the brain learns*. Corwin Press.
- The Royal Society. (2011). *Brain waves module 2: Neuroscience: implications for education and lifelong learning*. [https://royalsociety.org/-/media/Royal\\_Society\\_Content/policy/publications/2011/4294975733.pdf](https://royalsociety.org/-/media/Royal_Society_Content/policy/publications/2011/4294975733.pdf)
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90018-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90018-3)
- Vosniadou, S. (2009). *International handbook of research on conceptual change*. Taylor & Francis.
- Wenning, C. J. (2008). Dealing more effectively with alternative conceptions in science. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 5, 11-19.