

NEUROCIÊNCIA E APRENDIZAGEM: CONTRIBUIÇÕES PARA EDUCAÇÃO

NEUROSCIENCE AND LEARNING: CONTRIBUTIONS TO EDUCATION

Ciências Humanas, Ciências da Saúde • 10/05/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/778208043](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/778208043)

Cristiane Rodrigues da Silva

Rosa Maria Braga Lopes de Moura¹

RESUMO

A neurociência educacional é um campo interdisciplinar que explora os efeitos da educação no cérebro humano e promove a transposição dos resultados para pedagogias e políticas públicas baseadas no funcionamento cerebral. Desse modo, a pesquisa em neurociência em prol da Educação explora as relações entre os aspectos fisiológicos e comportamentais da aprendizagem. Sendo assim, o objetivo do presente estudo é investigar os princípios neurais da aprendizagem baseados na neuroplasticidade, linguagem, memória, funções executivas bem como o conteúdo emocional da linguagem tendo em vista os conhecimentos advindos da neurociência cognitiva, afetiva e comportamental direcionada a educação. Para tanto, a metodologia foi predominantemente qualitativa descritiva e de cunho bibliográfico com os descritores “Neurociência, Princípios Neurais da Aprendizagem”, “Educação”.

Palavras-chave: Funções Executivas; Linguagem; Neurociência; Neuroplasticidade.

ABSTRACT

Educational neuroscience is an interdisciplinary field that explores the effects of education on the human brain and promotes the transposition of results into pedagogies and public policies based on brain function. In this way, neuroscience research in education explores the relationships between the physiological and behavioral aspects of learning. Therefore, the objective of this study is to investigate the neural principles of learning based on neuroplasticity, language, memory, executive functions, as well as emotional content, considering the knowledge derived from cognitive, affective, and behavioral neuroscience in support of education. To this end, the methodology was predominantly qualitative,

descriptive, and bibliographic in nature, using the descriptors "Neuroscience, Neural Principles of Learning," and "Education."

Keywords: Executive Functions; Language; Neuroscience; Neuroplasticity.

RESUMEN

La neurociencia educativa es un campo interdisciplinario que explora los efectos de la educación en el cerebro humano y promueve la aplicación de los resultados a las pedagogías y políticas públicas basadas en la función cerebral. De este modo, la investigación neurocientífica en educación explora las relaciones entre los aspectos fisiológicos y conductuales del aprendizaje. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es investigar los principios neuronales del aprendizaje basados en la neuroplasticidad, el lenguaje, la memoria, las funciones ejecutivas y el contenido emocional, considerando el conocimiento derivado de la neurociencia cognitiva, afectiva y conductual en apoyo de la educación. Para ello, la metodología fue predominantemente cualitativa, descriptiva y bibliográfica, utilizando los descriptores "Neurociencia, Principios Neuronales del Aprendizaje" y "Educación".

Palabras-clave: Funciones Ejecutivas, Lenguaje, Neurociencia, Neuroplasticidad.

INTRODUÇÃO

No processo de aprendizagem, o cérebro tem a função de perceber e processar os estímulos externos em uma relação direta com o aprender. E, ainda, através dela, pode-se conhecer as bases biológicas da percepção pessoal, da cognição e do comportamento (IZQUIERDO, 2011).

A habilidade de aprender e de lembrar informações a respeito do mundo ao nosso redor e de nossas experiências que nele ocorrem é uma habilidade cognitiva fundamental que possuímos. Desse modo, armazenam-se milhões de informações, algumas vezes com facilidade, outras vezes com muito esforço (GAZZANIGA, 2006).

De acordo com Brandão (2004), de maneira geral, os mecanismos cerebrais da memória e aprendizagem estão também associados aos processos neurais responsáveis pela atenção, percepção, motivação, pensamento e outros processos neuropsicológicos, de forma que perturbações em qualquer um deles tendem a afetar, indiretamente, a aprendizagem e a memória.

Maturana (2001) já afirmava que não há atividade humana que não esteja sustentada por alguma emoção. Sendo assim, as emoções perpassam de plano essencialmente biológico, para um plano de significado constituído pela cultura.

A aprendizagem está relacionada com a memória de longo prazo e a memória de trabalho. A memória de longo prazo, localizada em todo o córtex cerebral, contém as nossas aprendizagens anteriores. Não temos um neurônio de memória ou uma célula que sirva para armazenar informações. A memória de longo prazo estabelece engramas, que é a “[...] unidade física da memória, de natureza ainda desconhecida, como se fosse o arquivo cerebral correspondente a um fato, pessoa, objeto, história ou qualquer outro item memorizado” (LENT, 2010).

Os grandes avanços da neurociência cognitiva que ocorreram a partir da década de 1990, denominada “década do cérebro”, responderam a vários enigmas e propuseram outros, revelando a

complexidade da relação cérebro e comportamento. Esses conhecimentos esclareceram o funcionamento de funções básicas do cérebro (como a percepção, a atenção e a memória) e, recentemente, possibilitaram a compreensão de interações sociais mais complexas, como o processo de aprendizagem pela imitação, os mecanismos que levam à confiança, e a empatia (FRITH, 2012).

Por outro viés, o estresse crônico pode produzir deterioração da memória; lentificação no desenvolvimento do raciocínio; alteração nas funções executivas; comprometimento das tarefas motoras; diminuição da atenção; aumento da irritabilidade; fadiga e aumento da possibilidade de desenvolvimento de distúrbios psiquiátricos, neurológicos e cognitivos (WHARTIN, 2007 apud MOURA, 2026a).

A neurociência explora os efeitos da educação no cérebro humano e promove a transposição dos resultados para pedagogias e políticas públicas baseadas no funcionamento cerebral. Tendo em vista essas considerações, a pesquisa em Neurociência em prol da Educação aproxima em um diálogo profícuo as relações entre os aspectos fisiológicos e comportamentais da aprendizagem.

MEMÓRIA: PRECEITOS E CONCEPÇÕES

A definição de memória para Izquierdo (2004) é “a aquisição, conservação e evocação de informações.” De acordo com o autor, a aquisição também recebe o nome de aprendizado e as memórias são adquiridas e evocadas a partir de fortes componentes emocionais e sob intensa modulação hormonal. Para que isso aconteça são necessários processos bioquímicos realizados pelo nosso cérebro, a fim de fazer ou evocar memórias.

A formação da memória envolve uma série de alterações bioquímicas em várias áreas do sistema nervoso central (SNC), entre as quais se destaca o hipocampo. Os eventos bioquímicos envolvidos na formação da memória incluem a ativação de receptores glutamatérgicos dos tipos N-metil-D-aspartato (NMDA) e metabotrópico (mGluRs) (IZQUIERDO, 2007).

“Somos aquilo que lembramos”. Essa frase é do pensador italiano Norberto Bobbio e foi citada por Izquierdo (2004) para dizer que “a forma de pensar, de agir, de planejar e de realizar o futuro depende estritamente daquilo que sabemos, ou seja, daquilo que lembramos.” E, se lembramos, é porque aprendemos. Portanto, para entendermos a aprendizagem, precisamos conhecer como funciona a memória.

Ainda conforme Izquierdo (2004), as memórias provêm de experiências ou de insights, por isso, há um número indefinido de memórias. Elas podem ser divididas em tipos de acordo com a duração e com a função. A memória de trabalho, por exemplo, acontece nos neurônios do córtex pré-frontal. Um segundo sistema de memória de trabalho acontece na amígdala e, em alguns casos, o hipocampo também está envolvido.

A amígdala tem uma função importante para a memória, “pois modula as memórias mais emocionais ou aversivas ou que necessitam de um grau maior de atenção ou alerta” (IZQUIERDO, 2004). Ela exerce função tanto nas memórias declarativas, quanto nas procedurais. As diversas áreas corticais processam aspectos próprios de cada memória e é difícil estabelecer um papel específico para cada uma das áreas.

Izquierdo (2004) esclarece que muitas das nossas memórias são remotas e há três razões pelas quais são lembradas. Primeiro, é que aconteceram carregadas de forte carga emocional, tornando-se importantes para nós. Segundo, pois são importantes para o dia a dia, sendo repetidas e usadas várias vezes. A repetição reforça a memória, o que faz com que cada vez mais circuitos nervosos sejam recrutados para reforçar o armazenamento delas. A terceira razão para a preservação das memórias antigas, em detrimento das mais novas, observa-se nos idosos. Por outro lado, esquecer onde colocamos os óculos ou estacionamos o carro não é consequência de alguma patologia, mas de distrações. Porém, há limite, em cada momento da vida, da quantidade máxima de memórias que um sujeito pode processar.

Segundo o autor supracitado,

“Uma vez guardadas as informações pertinentes a cada memória, o cérebro pode decidir que elementos de cada um convêm guardar, que é melhor extinguir e quais é melhor esquecer. Ao fazê-lo, o cérebro determina quanto do conteúdo de cada memória queremos ou podemos guardar, e, por último, se vale a pena guardá-lo tal como é ou se vale a pena reprimir sua evocação ou mudar seu conteúdo. Esse processamento posterior das memórias já guardadas pode mudar toda a nossa vida. (IZQUIERDO, 2004, p. 55).

O hipocampo tem condições de formar e evocar novas memórias através da extinção e da repressão de memórias. A extinção é “um aprendizado novo que se superpõe ao anterior e até certo ponto o substitui” e a repressão é “um mecanismo (IZQUIERDO, 2004). O processo de memorizar é aprender algo novo, por isso, é a base para a aprendizagem. Ao adquirir esse conhecimento, é necessário armazenar a informação no cérebro, ou seja, a consolidação da memória. Antigamente, acreditava-se que havia um único local no cérebro onde a memória era armazenada que usamos para reduzir ou suprimir memórias que preferimos não lembrar.

Para o autor supramencionado, a evocação ativa as áreas onde foram guardadas inicialmente de forma separada e as agrupam para lembrarmos. No entanto, não existe um único centro da memória, pois ela é armazenada de forma fragmentada. Quando necessário relembrar, todas as áreas enviam as informações e todas as partes se unem formando a informação inicial. Isso é a evocação da memória.

Na percepção de Izquierdo (2004, p. 9),

“Memória é a aquisição, a formação, a conservação e a evocação de informação. A aquisição é também chamada de aprendizagem: só se ‘grava’ aquilo que foi aprendido. A evocação é também chamada de recordação, lembrança, recuperação. Só lembramos aquilo que gravamos, aquilo que foi aprendido”.
(IZQUIERDO, 2004, p. 9).

A aprendizagem está relacionada com a memória de longo prazo e a memória de trabalho. A memória de longo prazo, localizada em todo o córtex cerebral, contém as nossas aprendizagens anteriores. Não temos um neurônio de memória ou uma célula que sirva para armazenar informações. A memória de longo prazo estabelece engramas, que é a “[...] unidade física da memória, de natureza ainda desconhecida, como se fosse o arquivo cerebral correspondente a um fato, pessoa, objeto, história ou qualquer outro item memorizado” (LENT, 2010).

Segundo Damásio (2011), a capacidade de manobrar o complexo mundo a nossa volta depende dessa faculdade de aprender e evocar. Por isso, reconhecemos pessoas e lugares porque realizamos registros de sua aparência e trazemos parte desses registros de volta no momento certo.

TIPOS DE MEMÓRIA

Do ponto de vista da neurociência, há três tipos de memória envolvidos na aprendizagem nas diferentes competências, sendo elas: memória semântica e episódica, memória procedimental e memória emocional. As lembranças que temos dos eventos de nossa vida pessoal, tornam-se possíveis graças à memória episódica, enquanto a memória semântica é encarregada das lembranças que temos das coisas que nos rodeiam (COSENZA, 2011).

As memórias declarativas envolvem hipocampo, córtex parietal, entorrinal e cíngulo anterior e posterior. As memórias procedurais são processadas inicialmente pelo hipocampo e, logo a seguir, passam a ser controladas pelo núcleo caudado e suas conexões. As memórias de curta e longa duração são processadas por

mecanismos bioquímicos das células do hipocampo, córtex entorrinal e parietal (IZQUIERDO, 2004).

Os substratos neurológicos desses tipos de memória são encontrados no hipocampo e no córtex pré-frontal. Se houver ablação dessas estruturas por algum motivo, qualquer pessoa se torna incapaz de adquirir novas cognições, mas seria capaz de realizar ações rotineiras ou repetitivas perfeitamente (COSENZA, 2011).

A aquisição das novas informações que poderão ser retidas na memória é chamada de aprendizagem. Memória é o processo de arquivamento seletivo das informações, que podemos evocar quando desejado, seja de forma consciente ou inconscientemente (LENT, 2011).

A aquisição equivale ao aprendizado de algo novo e envolve diferentes habilidades sensoriais, que são impulsionadas através da nossa atenção. O armazenamento é o segundo passo, quando as informações selecionadas são apreendidas. O armazenamento é processado no hipocampo e enviado ao córtex. Ali, são determinadas quais informações são armazenadas e quais são eliminadas. O terceiro passo é a evocação, que é o acesso às informações que foram armazenadas anteriormente. A evocação é feita pelo lobo frontal (IZQUIERDO, 2011).

Frente à memória de longo prazo, a memória de trabalho é bem menor, pois contém as informações de que temos consciência neste momento. Estamos imersos em ambientes externos, que promovem estímulos através dos sentidos, chamando-nos atenção, que são armazenados na memória de trabalho em forma de informações

novas que, por sua vez, evocam informações que já existem na memória de longo prazo e estão relacionadas a essa informação nova (IZQUERDO, 2004).

Izquierdo (2004, p. 102) apresenta que:

“a repetição é um dos métodos mais adequados para melhorar a memória de algum fato, evento ou habilidade. Não há forma de aprender a nadar, tocar piano ou andar de bicicleta (memórias procedurais) que não envolva a repetição; colocar uma pessoa na água pela primeira vez e pedir que nade, ou em frente a um teclado e pedir que toque tal música, ou que suba na bicicleta e saia pedalando, não existe. Por mais que se explique a lógica subjacente a cada um desses hábitos e se faça raciocinar o sujeito sobre eles, só aprenderão a nadar, a tocar piano e a andar de bicicleta depois de muitas e tediosas repetições. O mesmo acontece com muitas memórias declarativas: é impossível aprender a recitar um poema ou a tabuada do sete, ou a cantar a letra de uma música ou a montar um carro, ou a fazer um trabalho qualquer sem repetir e repetir. É impossível ser médico, advogado ou pedreiro sem aprender certas coisas de cor”. (IZQUERDO, 2004, p. 102)

Para Lent (2010, p. 594),

“O processo de aquisição de novas informações que vão ser retidas na memória é chamado aprendizagem. Através dele nos tornamos capazes de orientar o comportamento e o pensamento. Memória, diferentemente, é o processo de arquivamento seletivo dessas informações, pelo qual podemos evocá-las sempre que desejarmos, consciente ou inconscientemente. De certo modo, a memória pode ser vista como o conjunto de processos neurobiológicos e neuropsicológicos que permitem a aprendizagem”. (LENT, 2010, p. 594),

A consolidação da memória acontece no hipocampo, que liga as regiões mais desenvolvidas do cérebro, o neocórtex, que precisa ser associado pela memória. Grande parte desse processo acontece durante o sono. Portanto, dormir é essencial para aprendermos algo. A falta de sono, por sua vez, ocasiona o esquecimento de informações que vimos naquele mesmo dia. A criação de novas sinapses, ou seja, a sinaptogênese, é reforçada quando há uma recompensa ou emoção forte envolvida com o aprendizado (IZQUIERDO, 2004).

Segundo Izquierdo (2010), as emoções e o estado de ânimo interferem na formação e evocação de memórias, e como toda função cognitiva que envolve sinapses, quanto maior o número de estímulos condicionados dessa memória, maior a retenção ou evocação de uma dada informação. Por isso, tendemos a lembrar mais de situações de êxito do que aquelas de medo e stress pois o cérebro está biologicamente programado para prestar maior

atenção à informação que tem conteúdo emocional forte. Portanto, para que a aprendizagem ocorra, as emoções são essenciais.

Izquierdo (2011) reporta-se à memória como aquisição, formação, conservação e evocação de informações. A aquisição é também chamada de aprendizado ou aprendizagem: só “grava” aquilo que foi aprendido. A evocação é também chamada de recordação, lembrança, recuperação. Só lembramos aquilo que gravamos, o que foi aprendido.

De acordo com Gazzaniga (2006), o aprendizado e a memória podem ser subdivididos, hipoteticamente, nos principais estágios: codificação, armazenamento e vocação. A codificação refere-se ao processamento da nova informação a ser armazenada. A codificação envolve duas fases: aquisição e consolidação. A aquisição registra as informações em arquivos sensoriais e estágios de análise sensorial, enquanto a consolidação cria uma forte representação da informação através do tempo. O armazenamento, resultado da aquisição e da consolidação, cria e mantém um registro permanente. Já a evocação utiliza a informação armazenada para criar uma representação consciente ou para executar um comportamento aprendido como um ato motor.

CLASSIFICAÇÃO DA MEMÓRIA: PRINCÍPIO DA APRENDIZAGEM

A memória humana é o princípio gerador da aprendizagem, sem a qual não poderíamos construir novos conhecimentos e nem ter acesso ao que foi aprendido. A memória influencia inúmeros processos mentais complexos como a escrita, a linguagem, imaginação e a inteligência. Denominamos memória o processo pelo qual conservamos esses conhecimentos ao longo do tempo.

Uma das definições correntes indica que a aprendizagem corresponde à aquisição de novos conhecimentos do meio e, como resultado desta experiência, ocorre a modificação do comportamento, enquanto que a memória é a retenção deste conhecimento”. Ressaltamos que os processos de aprendizagem e memória modificam o cérebro e a conduta do ser vivo (GAZZANIGA, 2006).

Na avaliação de Damásio (2011) é possível pois “[...] o cérebro retém uma memória do que ocorreu durante uma interação, e essa interação inclui fundamentalmente nosso passado, e até, muitas vezes, o passado de nossa espécie biológica e de nossa cultura”. O conjunto de nossas memórias faz com que cada sujeito seja o que é, no singular, dotado de individualidade. Sendo assim, o acervo de nossas memórias determina nossa personalidade.

Como enfatiza Izquierdo (2011), é a memória que nos individualiza, porque nossas lembranças são moduladas pela emoção, pelo nível de consciência e pelos estados de ânimo. O mesmo autor, já mencionava que a memória determina a individualidade como pessoa e como povo, pois: eu sou quem sou porque me recordo de quem sou.

Na compreensão de Gazzaniga (2006), uma tendência dominante na neurociência cognitiva tem sido o reconhecimento da existência de múltiplos sistemas de memória. A memória é dividida em memória sensorial, memória a curto prazo e memória a longo prazo. O processamento da informação ocorreria da seguinte forma: primeiramente, a informação seria recebida na memória sensorial, sendo mantida durante alguns segundos, após o desaparecimento do estímulo. Então, seguiria para a memória de curto prazo, que faria

a retenção de parte da informação por cerca de um minuto. A seguir, a informação seria ou esquecida ou processada, através de uma recapitulação, passando em seguida à memória de longo prazo, onde se tornaria permanente.

De acordo com Cosenza e Guerra (2011), a forma tradicional de classificar a memória leva em conta a sua duração. Por essa classificação, haveria uma memória de curto prazo ou de curta duração encarregada de armazenar acontecimentos recentes, e uma memória de longo prazo ou de longa duração responsável pelo registro de nossas lembranças permanentes.

Segundo Izquierdo (2011), a classificação das memórias pode ocorrer com base em três aspectos: I - função; II - tempo de duração; III - conteúdo. O primeiro aspecto corresponde a memória de trabalho. No segundo aspecto, estão as memórias de curta duração e as memórias de longa duração. Já no terceiro aspecto, estão os tipos de memórias declarativas e procedural ou de procedimentos. Os traços a serem armazenados são inicialmente recebidos pela memória sensorial ou memória imediata que ocorre em uma fração de segundo. A partir daí, após verbalização, eles são transferidos para a memória primária que representa a memória de curto prazo.

O estudo da memória constitui-se em um processo complexo e com desencontros de informações, que o revela como um campo de incertezas. Encontramos claramente algumas variações com relação à existência de nomenclaturas relativas às divisões da memória. Visando uma descrição sistêmica sobre o funcionamento das memórias e uma melhor compreensão sobre as mesmas, detalharemos com maior profundidade as divisões da memória

quanto ao tempo de duração, de acordo com Gazzaniga (2006) e Izquierdo (2011).

TIPOS DE MEMÓRIA

Conforme Izquierdo (2013), a memória de trabalho é um tipo de memória crucial tanto no momento da aquisição quanto no momento da evocação de toda e qualquer memória. Essa forma de memória é sustentada pela atividade elétrica de neurônios do córtex pré-frontal, em rede via córtex entorrinal com o hipocampo e a amígdala, durante a percepção, a aquisição ou a evocação. A memória de trabalho dura segundos e não deixa traços: depende exclusivamente da atividade neuronal on-line. Um exemplo é a terceira palavra da frase anterior: durou 2 ou 3 segundos, para dar sentido à frase e conectá-la com a seguinte, mas já desapareceu de nossa memória para sempre.

Segundo Izquierdo (2011), o conteúdo da memória de trabalho terá apenas um entre três destinos possíveis: ou serão repetidos (e assim permaneceram mantidos por mais tempo nesse sistema), ou serão processados, passando para a memória de longa duração, ou serão imediatamente perdidos. As informações aqui depositadas e tidas como não importantes são perdidas temporariamente ou para sempre. Já o processo de repetição, ou alguma forma de uso, as mantêm ativas na memória de trabalho. A memória de trabalho é essencial para que possamos resolver situações como, por exemplo: cálculos mentais, realizar atividades rotineiras e lembrar-nos das atividades a cumprir. É, portanto, responsável por acionar recursos cognitivos presentes na memória de curto prazo e na memória de longo prazo para a execução de múltiplas tarefas as quais nos deparamos cotidianamente.

Para Izquierdo (2011) a memória de longo prazo é distinta da memória de curto prazo e da memória de trabalho, pois possui enorme capacidade de armazenamento, sendo seu esgotamento ainda desconhecido. A informação precisa ser ensaiada, repetida para se manter na memória de curta duração, ela precisa ser elaborada para ir para a memória de longa duração, isto é, precisa ser classificada, organizada, conectada e armazenada com a informação que já existe na memória de longa duração.

O processo de aquisição das novas informações que vão ser retidas na memória é chamado aprendizagem. Através dele nos tornamos capazes de orientar o comportamento e o pensamento. Já a memória, diferentemente, é o processo de arquivamento seletivo dessas informações, pelo qual podemos evocá-las sempre que desejamos, consciente ou inconscientemente (LENT, 2010).

A sequência dos processos moleculares subjacentes à formação de memórias no hipocampo envolve a ativação de numerosas enzimas que regulam a atividade de proteínas preexistentes, e a produção por elas de ativação gênica e síntese proteica. Muitas das proteínas sintetizadas no hipocampo na formação de memórias se incorporam às sinapses das células hipocâmpais com as de outras regiões e alteram sua função. Outras regulam esses processos (IZQUIERDO, 2013).

Lent (2008) diferencia a memória de curta duração, que permanece ativa de 30 minutos a 6 horas, da memória de longo prazo que, após uma sequência de eventos bioquímicos, é consolidada e pode ser evocada depois de muitas horas, dias ou anos. Esse intervalo, portanto, foi fundamental para identificar os processos de auto

reorganização mental e autopercepção das (o) educadores sobre a sua prática.

NEUROPLASTICIDADE: DEFINIÇÃO

A neuroplasticidade, também conhecida como plasticidade neural ou plasticidade cerebral, é um processo que envolve mudanças estruturais e funcionais adaptativas no cérebro. Uma boa definição é "a capacidade do sistema nervoso de alterar sua atividade em resposta a estímulos intrínsecos ou extrínsecos, reorganizando sua estrutura, funções ou conexões".

Clinicamente, refere-se ao processo de alterações cerebrais após uma lesão, como um acidente vascular cerebral (AVC) ou traumatismo cranioencefálico (TCE). Essas alterações podem ser benéficas (restauração da função após a lesão), neutras (sem alterações) ou negativas (podendo ter consequências patológicas).

A neuroplasticidade pode ser dividida em dois mecanismos principais: Regeneração neuronal/brotamento colateral: Isso inclui conceitos como plasticidade sináptica e neurogênese. Reorganização funcional: Isso inclui conceitos como equipotencialidade, vicariação e diasquise. A primeira menção do termo plasticidade em relação ao sistema nervoso foi feita por William James em 1890. No entanto, o termo plasticidade neural é atribuído a Jerzy Konorski em 1948 e foi popularizado por Donald Hebb em 1949.

Na literatura recente, os estudos sobre a neuroplasticidade do sistema nervoso podem ser classificados como pertencentes à categoria daqueles que manipulam o ambiente e analisam as mudanças morfológicas e/ou funcionais em circuitos neurais,

denominados de estudos de plasticidade neural ou à categoria de estudos que enfatizam as mudanças comportamentais após traumatismos ou lesão do sistema nervoso, denominados de recuperação de função (KOLB,1989).

Nos processos comportamentais encontram-se as alterações funcionais e morfológicas que ocorrem no sistema nervoso e que caracterizam a neuroplasticidade neural (CUELLO, 1997).

Dentre essas questões, destacam-se as referentes ao desenvolvimento neural, à recuperação de função e à reorganização morfofuncional de circuitos neurais relacionados com a aprendizagem, consolidação de memória ou com lesões neurais (MORRIS, 1988).

A interação com ambiente rico em estimulação resulta em alterações específicas do SNC com o aumento na espessura das camadas do córtex visual, no tamanho de corpos neuronais e de núcleos dos corpos neuronais, no número de sinapses e na área das zonas de contato sináptico, no número de dendritos e de espinhas dendríticas, no volume e no peso cerebral, além de alterações em níveis de neurotransmissores. Em resumo, todas as características morfológicas e funcionais de áreas corticais sofreram alterações importantes em função da mera exposição e da interação com ambientes que oferecem diversidade de estímulos (ROSENZWEIG, 1996).

O ambiente contribui para modificar a estrutura do sistema nervoso, ou seja, o cérebro responde às atividades promovidas pela ação do ambiente que o atinge. Assim, a capacidade do cérebro de construir

novas conexões neurais e modificar suas estruturas é que possibilita o aprendizado durante toda a vida (LENT, 2010).

A neuroplasticidade se caracteriza pela capacidade do organismo em alterar funcionalmente e morfológicamente estruturas em resposta a experiências, drogas, hormônios e lesões. (COSENZA, 2011). Portanto, é a capacidade de fazer e desfazer ligações entre os neurônios como consequência das interações constantes com o ambiente externo e interno do corpo. Assim, a aprendizagem se traduz pela formação e consolidação das ligações entre as células nervosas.

Para Izquierdo (2011), a neuroplasticidade é o “conjunto de processos fisiológicos, em nível celular e molecular, que explica a capacidade das células nervosas de mudar suas respostas a determinados estímulos como função da experiência”. Para esse pesquisador, a plasticidade se dá através da aprendizagem ou formação de memórias.

A hipótese do período crítico diz respeito a um período de tempo específico, no qual o aprendizado de línguas seria facilitado pela relativa neuroplasticidade e possibilidade de mudanças neurais (MELO, 2019).

Nos primeiros anos de vida, o aprendizado é facilitado devido à maior neuroplasticidade cerebral, bem como à maior disponibilidade de neurônios, capazes de estabelecer mais conexões e apreender, desta forma, um número maior de padrões fonéticos.

A maturação cerebral, a lateralização, a poda sináptica e o compromisso neural estabelecido tornaram o aprendizado mais difícil e limitado. Pode-se considerar, assim, que o hemisfério

cerebral esquerdo é dominante para a linguagem na maioria dos indivíduos, para aspectos como gramática, o léxico, construção e produção fonêmica. O hemisfério direito, por sua vez, parece estar envolvido na interpretação das intenções do falante, a partir da entonação, bem como na compreensão do significado das frases e de pistas emocionais (BONA, 2013).

INTERFERÊNCIA SENSORIAL E EMOCIONAL NA APRENDIZAGEM

Há dois tipos principais de distrações: sensorial e emocional. Podemos aqui lembrar que o encéfalo prestará mais atenção a informações com forte conteúdo emocional. E também, que embora assim haja maiores chances de armazenamento e evocação da informação, isso não garante uma perfeita recordação posterior, pois como estuda Izquierdo (2011), até as melhores memórias possuem certo grau de extinção de informações.

Lent (2010) explica que o ciclo vigília-sono é uma oscilação do nível de atividade do sistema nervoso, sendo maior no estado de vigília e menor durante o estado de sono. É durante o sono que nossos músculos repousam, entramos em estado inconsciente e o organismo funciona de forma mais lenta, mas a atividade neural não deixa de existir.

O sono é importante para a aprendizagem. É durante o sono que os mecanismos eletrofisiológicos e moleculares envolvidos na formação de sinapses mais estáveis estão em funcionamento. É como se o cérebro, durante o sono, passasse a “limpo” as experiências vividas e as informações recebidas durante o período de vigília, tornando mais estáveis e definitivas aquelas que são mais significativas (COSENZA, 2011).

Para Lent (2010), o sono é essencial para que informações que estão na estrutura do hipocampo passem para o córtex, o qual é responsável por movimentos corporais e pela realização de atividades intelectuais. Além de permitir que memórias não sejam simplesmente esquecidas, o sono torna essas memórias mais acessíveis. As hipóteses mais consistentes hoje são as seguintes: a conservação e a restauração do armazenamento de energia do organismo, a termorregulação cerebral, a desintoxicação do cérebro, os processos de “restauração” dos tecidos corporais, a plasticidade cerebral durante a ontogenia e a consolidação dos processos de aprendizagem e memória.

A região pré-frontal é responsável pelo planejamento, pela coordenação entre a percepção e organização de diferentes movimentos, isto é, a partir de informações emocionais, atencionais e mnemônicas recebidas do sistema límbico ou do cerebelo e das regiões posteriores sensoriais. Essa região faz um planejamento de ações complexas, soluciona problemas propostos pelo ambiente, organiza e desencadeia as respostas motoras. Assim, para a realização de tarefas diárias e para um adequado convívio social, as funções executivas devem necessariamente estar íntegras, pois a identificação de respostas alternativas para a resolução de problemas reflete na adaptação ambiental do indivíduo (LENT, 2010).

FISIOANATOMIA DA LINGUAGEM

A linguagem se distingue de outras formas de comunicação, uma vez que possui um conjunto finito de sons, que podem ser combinados em infinitas possibilidades. A linguagem também possui muitos níveis funcionais, como fonemas, morfemas, palavras e frases (MAINGUENEAU, 2010).

As técnicas de neuroimagem possibilitaram a visualização funcional do encéfalo, como a Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET), eletroencefalograma (EEG), Ressonância Magnética Funcional (fMRI) entre outros. Essas técnicas permitiram a observação de padrões de ativação cerebral enquanto o indivíduo realizava tarefas de linguagem durante o exame (HÜBNER, 2018).

Na percepção de Lent (2010), o avanço nos estudos do cérebro permitiu uma compreensão maior das áreas envolvidas na linguagem, especialmente no hemisfério esquerdo. Sabe-se que as áreas de associação das regiões frontal, temporal e parietal fornecem conexões entre conceitos e palavras. Da mesma forma, as áreas pré-frontais e do giro do cíngulo parecem estar envolvidas no controle das funções executivas.

A área de Broca (giro frontal inferior esquerdo) e a área de Wernicke (região posterior do lobo temporal esquerdo) também parecem ser fundamentais para o processamento da linguagem. Lesões nessas áreas e áreas vizinhas estão associadas ao desenvolvimento da afasia de Broca e de Wernicke, dois dos mais conhecidos distúrbios de linguagem. Na afasia de Broca, os pacientes têm a fala lenta e pouco fluente, com a articulação e entonação comprometidas (LENT, 2010).

Dessa forma, entende-se que a compreensão da linguagem e seus mecanismos envolvem a integração de diversas áreas do conhecimento, a fim de permitir estudos e resultados mais abrangentes e aprofundados. A linguagem, assim, coloca-se como elemento fundamental para a vida cotidiana e para a inserção social dos indivíduos, sendo indispensável a exploração de recursos para o seu desenvolvimento (DE MARCO, 2011).

Neste viés, os giros do lobo frontal inferior temos a área de Broca, que controla a expressão da linguagem, o centro cortical da palavra falada. Nela, há um conjunto de neurônios que regulam a expressão da nossa linguagem, tanto a falada quanto a escrita. Outra área relacionada à linguagem, que fica próxima ao final do sulco lateral, é a área de Wernicke, na qual acontece a percepção e a compreensão da linguagem. Esses processos acontecem em um único lado do encéfalo, sendo na maioria das pessoas no hemisfério esquerdo, o que justifica esse lado ser chamado de lado dominante, pois domina a linguagem. No hemisfério direito, essas áreas não correspondem (KANDEL 2014; LENT, 2010).

A superfície superior do lobo temporal é responsável pela percepção. Uma vez percebidos, seguem para a área de Wernicke no hemisfério esquerdo promovendo a compreensão da linguagem. Nesse lobo se localiza a amígdala que é fortemente ligada às emoções, o hipocampo, que é essencial para formação da memória e, também, a área de Wernicke, que está relacionada à compreensão da linguagem. A linguagem é revestida de aspectos emocionais de várias modalidades de memória e depende da integridade de inúmeras outras funções cerebrais primitivas e filogeneticamente mais evoluídas (DEHAENE, 2012).

Fuster (1997) elaborou um modelo anatomofisiológica de regiões implicadas no processamento cognitivo. As áreas pré-frontais, são subdivididas em três porções anatomofuncionais distintas: dorsolateral, ventromedial e orbitofrontal. A região dorsolateral está envolvida em processos “racionais”, responsável pela mediação de funções de resolução de problemas, abstração, memória de trabalho e raciocínio, entre outras. As áreas ventromediais e orbitofrontais apresentam funções “límbicas” ou subjetivas: as porções

ventromediais estão relacionadas à iniciativa e à motivação, enquanto as orbitofrontais estão envolvidas no comportamento emocional e na estrutura de personalidade.

Em se tratando de processos executivos, o córtex pré-frontal recebe informações perceptuais oriundas de áreas posteriores do encéfalo e utiliza esses dados no planejamento e na execução de uma determinada ação em resposta aos inputs sensoriais - ação essa que pode assumir a forma de resposta motora ou linguagem (FUSTER, 2004).

A codificação semântica é a tradução das informações sensoriais em uma representação significativa baseada na compreensão do significado das palavras. Buscamos as palavras armazenadas na memória semântica, mas em determinadas situações essa codificação não é possível porque seu significado ainda não existe na memória, a palavra não faz parte do léxico – palavras que constituem o vocabulário (DEHAENE, 2012).

Squire (2003) assevera que a importância que atribuímos ao fato, o grau em que podemos organizar e relacionar com o conhecimento que tínhamos e a facilidade com que podemos lembrar o material são fatores que determinam se aquilo que é percebido será ou não lembrado depois. Nesse viés de pensamento, desconsiderar as condições interpretativas dos estudantes é um equívoco, pois limita as possibilidades de diálogo e de compreensão, de ensino e aprendizagem.

A linguagem é um sistema simbólico indispensável para vida social, organiza os signos em estruturas complexas e desempenha um papel fundamental na construção psicológica humana. Através da

linguagem elaboramos conceitos, organizamo-nos, relacionamo-nos e aprendemos, uma vez que as funções mentais superiores são socialmente formadas (VYGOTSKY, 2004).

Damásio (1996) propôs a “Hipótese do Marcador Somático”, que busca a inter-relação entre o córtex orbitofrontal, o giro do cíngulo anterior e a amígdala na capacidade de decidir e a função social. Assim, o modelo proposto argumenta que os estados somáticos afetivos, associados aos resultados antes da decisão, seriam utilizados na orientação de decisões futuras.

O conjunto de processos cognitivos envolvidos nas funções executivas é dependente tanto da neuroplasticidade quanto da linguagem. De uma forma análoga, a comunicação por meio da linguagem só parece possível quando se conhece que há uma intencionalidade própria e, de forma mais aprimorada, a linguagem torna-se mais eficaz (LURIA, 1970).

ESPECTRO EMOCIONAL DA LINGUAGEM: NEURÔNIOS-ESPELHO

Os neurônios-espelho foram associados a imitação, teoria da mente e aprendizado de novas habilidades (RIZZOLATTI, 2006). As emoções podem ser espelhadas pois, as células refletem a expressão do sentimento que pode estar por trás das lágrimas e trazem de volta a lembrança de momentos que já vivenciamos. A essa capacidade dá-se o nome de empatia, uma das chaves para decifrar o comportamento e a socialização do ser humano. Essas células também refletem uma série de elementos da comunicação não verbal, como por exemplo, pequenas mudanças na face e no tom de voz que auxiliam para compreender o que o outro está pensando ou sentindo (RIZZOLATTI,1998).

Cabe ressaltar que os neurônios-espelho estão fortemente relacionados com nossa capacidade de aprender. Além de responder as ações dos outros - daí o nome espelho -, eles podem ser a chave para descobrir como o ser humano começa a sorrir, andar e falar. Os neurônios-espelho é a redefinição do processo de ensino-aprendizagem e nos permite compreender o que o outro está sentindo e, conseqüentemente, entrar em empatia, evidenciando a capacidade que temos de estabelecer ressonâncias com as outras pessoas e de construir uma aprendizagem eficaz (RIZZOLATTI,1994). De acordo com o autor supracitado:

“Somos criaturas requintadamente sociais. Os neurônios-espelho nos permitem captar a mente dos outros não por meio do raciocínio conceitual, mas pela simulação direta. Sentindo e não pensando.

Em respeito à etimologia e às diferentes reações físicas e mentais que produzem, o afeto é definido como sendo um conjunto de fenômenos psíquicos que se manifestam sob a forma de emoções, sentimentos ou paixões, acompanhadas sempre dá impressão de prazer ou dor, de satisfação ou insatisfação, agrado ou desagrado, alegria ou tristeza. Assim sendo, a imitação e a empatia são funções atribuídas aos neurônios-espelho (RAMACHANDRAN, 2014).

A complexificação cerebral, ocorrida gradualmente, foi um processo fundamental para a evolução da espécie humana. Essa tem um caráter dialético, pois ao mesmo tempo em que a evolução do cérebro produziu o desenvolvimento da cultura, está estimulou lentamente o desenvolvimento do cérebro, facilitando tanto a

aptidão para aprendizagem quanto o desenvolvimento afetivo e cognitivo (PÓVOA & CALLEGARO, 2005).

Segundo LeDoux, (2003), a integração de conteúdo emocional relacionada aos processos cognitivos ocorre no complexo córtex órbito-frontal (COF) e córtex préfrontal (CPF) ventromedial. As impressões sensoriais convergem, através do COF, para o CPF ventromedial, de onde a informação sintetizada é levada às regiões do CPF dorsomedial e CPF ínfero-lateral.

Conforme Damásio (2000) há três níveis de emoção, classificados em primário, secundário e de fundo. As emoções primárias, também denominadas emoções básicas, são alegria, tristeza, medo, raiva, surpresa e repugnância. As emoções secundárias ou sociais incluem embaraço, ciúme, culpa e orgulho. E as emoções de fundo são bem ou mal-estar, calma ou tensão. Segundo o autor, as emoções exercem influência nos processos mentais; os sistemas cerebrais destinados à emoção estão intrinsecamente ligados aos sistemas destinados à razão; e que a mente não pode ser separada do corpo.

A sobrevivência dos seres humanos é o fato de sermos capazes de nos organizar socialmente, e isso só é possível porque entendemos a ação de outras pessoas. Além disso, também somos capazes de aprender através da imitação e essa faculdade é a base da cultura humana (RAMACHANDRAN, 2006; RIZZOLATTI, 2006).

Segundo Rizzolatti (1998), a área de Broca não está somente envolvida com o processamento da linguagem oral e do significado de gestos linguísticos. A homologia proposta entre a área de Broca e a área F5 dos macacos, junto com a comprovação recente da participação da área de Broca no SNE sugere que os neurônios-

espelho podem ter contribuído para a gênese da linguagem humana.

As percepções dos atos motores pelos neurônios-espelho e o reconhecimento das reações emocionais dos outros aparentemente são integradas, o que permite ao cérebro interpretar a intenção alheia, tendo, então, condições de selecionar o comportamento para emitir. A emoção, representada principalmente pela expressão facial, cuja configuração é comum a todos os seres humanos, pode ativar os neurônios-espelho do córtex pré-motor. Esses neurônios levariam uma “cópia” do seu padrão de ativação à área somatossensorial e à ínsula, ativando-as, analogamente com o que ocorre quando o observador espontaneamente expressa uma emoção. Essa poderia ser uma raiz biológica do entendimento das reações emocionais dos outros, a empatia (RIZZOLATTI, 2008).

Segundo Caminha et al (2011), o desenvolvimento a valência afetiva atribuída ao comportamento do outro acaba por definir alguns padrões do processamento cognitivo. Essa valência é atribuída pela observação do comportamento alheio, que pode passar pelo crivo dos neurônios-espelho, pois a identificação dessa intencionalidade do ato é processada por esse grupo de neurônios. Do ponto de vista do desenvolvimento da pessoa, as crianças elegem como modelos pessoas cujos vínculos afetivos são mais estreitos. Assim, indícios com maiores habilidades interpessoais tendem a ser mais efetivas em assumir o ponto de vista de outra pessoa e em distinguir emoções reais e dissimuladas, além de apresentar maior habilidade em linguagem e em reconhecer crenças falsas.

A ativação dos neurônios-espelho não é o único mecanismo biológico que o cérebro tem para entender as intenções inerentes

nas ações dos outros, entretanto permite um entendimento do comportamento do outro a partir da emulação do comportamento. Portanto, os neurônios espelho representam parte do processo de empatia, podendo ser vistos como uma espécie de indicador biológico da competência social do indivíduo (RIZZOLATTI, 2008).

Os neurocientistas acreditam que o aparecimento e o aprimoramento dos neurônios-espelho propiciaram o desenvolvimento de funções importantes como linguagem, imitação, aprendizado e cultura (RIZZOLATTI, 2006).

Os grandes avanços da neurociência que ocorreram a partir da década de 1990, denominada “década do cérebro”, responderam a vários enigmas e propuseram outros, revelando a complexidade da relação cérebro e comportamento. Esses conhecimentos esclareceram o funcionamento de funções básicas do cérebro (como a percepção, a atenção e a memória) e, recentemente, possibilitaram a compreensão de interações sociais mais complexas, como o processo de aprendizagem pela imitação, os mecanismos que levam à confiança, e a empatia (FRITH, 2012).

A descoberta dos neurônios-espelho em macacos e, posteriormente, em seres humanos é uma possibilidade para a compreensão das bases biológicas das habilidades de relacionamento interpessoal (RIZZOLATTI, 2013).

Tem sido apontado que esse agrupamento de neurônios está intimamente relacionado com o comportamento de imitação e há cada vez mais evidências de que esteja também relacionado com fenômenos afetivos complexos, como a empatia (CORRADINI, 2013).

Nos achados de Hamilton (2006), as técnicas de supressão neuronal, dissociam o processamento de alto alcance do processamento meramente cinemático. O autor observou que a identificação objeto-meta foi computada no sulco intraparietal anterior. Por outro lado, esta dissociação envolve uma análise das consequências esperadas da ação, que apresenta um nível de hierarquia maior do que o anterior.

Posteriormente, Hamilton (2007) assevera que existe uma lateralização do sistema que computa as consequências da ação. Através desse estudo, os pesquisadores descobriram que as consequências de uma ação observada são processadas no giro frontal inferior e no lobo parietal inferior direito, bem como no sulco pós-central esquerdo e no sulco anterior intraparietal esquerdo. O processamento de alto nível, definido por uma análise das metas, se realiza em um sistema que envolve duas áreas do hemisfério direito: o lobo intraparietal e o giro frontal inferior. Nesse processamento de metas, os objetos-meta também são processados lateralmente no córtex parietal inferior esquerdo.

Newman et al (2003), o planejamento de movimentos simples ocorre no córtex motor e pré-motor, bem como no córtex parietal inferior esquerdo. No entanto, parece que o lobo parietal inferior direito está envolvido nos comportamentos complexos que requerem vários passos.

Na tarefa de imitar o movimento dos dedos, o pesquisador identificou o aumento da atividade do córtex parietal posterior rostral e no giro frontal inferior, zonas próximas à área de Broca, sugerindo o envolvimento dessas áreas espelho em um mecanismo de aquisição de linguagem de tipo filogenético (IACOBONI, 2006).

A área de expressão emocional baseada em esquemas corporais está composta por duas estruturas: primeiro a ínsula, que, como já foi dito, é o centro de integração da informação interoceptiva; por outro lado, encontramos o córtex cingulado, que se subdivide da seguinte forma: em contraste com a divisão clássica entre processos cognitivos e emocionais do córtex cingulado (POSNER et al., 2007).

O lobo frontal tem a função de reconhecer o comportamento observado e o suposto estado mental; e o córtex motor, o parietal e o sulco temporal superior se encarregam de integrar informações visuais e esquemas motores armazenados. Desse modo, os neurônios-espelho assumem um papel básico em comportamentos empáticos, como por exemplo adotar gestos faciais e posturas em comportamentos imitativos interativos, juntamente com o envolvimento emocional. Recentemente foi comprovado que existe uma divisão em termos de expressão emocional no córtex cingulado anterior dorsal, e uma função regulatória das emoções no córtex cingulado anterior (ETKIN et al., 2010).

Jackson et al (2005), a empatia não é um processo unívoco. Embora existam evidências de que ao observar o castigo alheio, produz-se uma ativação na amígdala, no córtex cingulado anterior e na ínsula. Além do tálamo e do cerebelo provavelmente o processo completo vai depender de uma rede de grande escala, com áreas de alto processamento, influenciando ou provocando respostas emocionais.

A empatia recebe o suporte dos neurônios-espelho, sistema límbico e ínsula, Dentro dessa rede, os neurônios espelhos fornecem, através da ínsula, simulação de expressões faciais e gestos observados. Dessa forma, fornece-se um sistema alternado de emoções ao indivíduo, baseado na simulação que a cognição social permite

parcialmente. Essa teoria é chamada de “teoria da simulação” (GALLESE, 1998).

A integração de conteúdo emocional relacionada aos processos cognitivos ocorre no complexo córtex orbitofrontal (COF) e córtex pré-frontal (CPF) ventromedial. As impressões sensoriais convergem, através do COF, para o CPF ventromedial, de onde a informação sintetizada é levada às regiões do CPF dorsomedial e CPF ínfero-lateral. Dentro da estrutura límbica existe o hipotálamo, que atua como ativador do sistema nervoso simpático. Emoções como medo, raiva, fome, sexo e sede são compreendidas pelo hipotálamo, já outras situações como raiva, prazer, dor e medo, são compreendidas pelos núcleos amígdalóides e septo (LEDOUX, 2003).

Stefan et al. (2007) sugerem que a aprendizagem de uma sequência motora, através da observação, melhora a formação de memórias motoras, em comparação com a aprendizagem solitária. De acordo com os autores, a aprendizagem por observação pode mediar processos de neuroplasticidade a longo prazo, e que esse efeito está mediado pelo sistema de neurônios espelho no córtex motor. A hipótese é baseada nas áreas mediais que têm maior conexão com centros límbicos e de informações sensoriais proprioceptivas. Sendo assim, são mais influenciadas pelos dados e as áreas laterais são mais reflexivas e dependentes de representações sobre o mundo externo.

IMPORTÂNCIA DAS FUNÇÕES EXECUTIVAS PARA APRENDIZAGEM

As funções executivas (FE) abrangem um conjunto de processos comportamentais que permitem ao indivíduo a realização

independente e autônoma de atividades dirigidas a metas através de tomada de decisões, desenvolvimento de estratégias, estabelecimento de prioridades, controle de impulsos e outros aspectos comportamentais (RAMACHANDRAN, 2006).

Nos estudos de Lent (2010), as FE desenvolvem-se nos primeiros anos de vida e terminam seu processo de maturação no final da adolescência. O desenvolvimento dessas funções durante a infância proporciona gradualmente a adequação e um melhor desempenho para a iniciação, persistência e conclusão de tarefas.

A região pré-frontal faz um planejamento de ações complexas, soluciona problemas propostos pelo ambiente, organiza e desencadeia as respostas motoras. Assim, para a realização de tarefas diárias e para um adequado convívio social, as funções executivas devem necessariamente estar íntegras, pois a identificação de respostas alternativas para a resolução de problemas reflete na adaptação ambiental do indivíduo (LENT, 2010).

Assim, pode-se supor que a estereotipia comportamental está ligada a desinibição e impulsividade, pois o córtex pré-frontal parece não inibir os estímulos eferentes do sistema límbico. Desse modo, a dificuldade nos relacionamentos interpessoais, a indiferença afetiva e as demonstrações inapropriadas de afeto poderiam ser explicadas pelo déficit das FE (LENT, 2010).

Para Gazzaniga (2005), as (FE) não estão restritas apenas aos lobos frontais. Existem outras estruturas que apresentam uma ligação na execução dos comportamentos como o lobo parietal, que participa da atenção espacial, e o hipocampo, que pode ser visto como um sistema de coordenação executiva que liga representações através

das áreas corticais. Ainda, existem estudos que evidenciam a cognição ligada ao cerebelo e núcleos da base, podendo estas ter uma formação em rede com o córtex pré-frontal.

De acordo com o autor, as características da disfunção executiva são devido a diminuição da autocrítica, falta de preocupação com o futuro, indiferença afetiva, diminuição ou ausência de senso crítico, irritabilidade, desinibição, impulsividade e euforia. Também são comuns a presença de sintomas como baixa flexibilidade conceitual, excessiva rigidez comportamental, tendência a indiferença e apatia.

Na pesquisa de Klin (2006), o prejuízo das funções executivas causa dificuldades no planejamento e manutenção de um objetivo na execução de uma tarefa, podendo também gerar déficits na aprendizagem por meio de feedback e uma falta de inibição de respostas irrelevantes e ineficientes com um prejuízo na capacidade atencional, na motivação, na memória, no planejamento e execução de uma tarefa.

Rotta (2005) investigou que o cérebro dos indivíduos com disfunção executiva apresentam alterações no cerebelo, sistema límbico é uma anormalidade na organização cerebral. Dentre as estruturas corticais, as anormalidades estão no aumento do volume do ventrículo lateral esquerdo ou biventricular, malformações corticais, hipoplasia dos lóbulos VI e VII do vermis cerebelar, do tronco cerebral e uma elevação dos níveis de serotonina nas plaquetas. Nos achados de Bauman (2005), incluem uma significativa diminuição na amígdala e nas áreas pré-frontais, hipocampo, o corpo caloso e o giro do cíngulo anterior dorsal.

Estudos de neuroimagem sugerem que as disfunções executivas são um padrão anormal de desenvolvimento cerebral com um crescimento acelerado durante os primeiros anos de vida, seguido por uma desaceleração em algumas regiões do cérebro, enquanto em outras áreas há uma parada do crescimento. (COURCHESNE, 2003).

Segundo Nicoletti (2011), as respostas emocionais automatizadas tem como função solucionar problemas imediatos com maior eficácia e sem a extrema necessidade de ativar os processos conscientes.

As propriedades funcionais do comportamento são determinadas pelas relações, estímulos e as respostas de um organismo (SKINNER, 1981). O comportamento relaciona-se com a identificação, a descrição e a programação de relações condicionais que controlam a probabilidade de vários tipos de comportamento (BAUM, 1999; CATANIA, 1999).

Do mesmo modo que o comportamento altera a probabilidade de outros comportamentos, a atividade neural altera a probabilidade das funções neurais. Uma das evidências para este fato é que tanto as situações de mera exposição à estimulação ambiental quanto às situações de treinamento sistemático em aprendizagem resultam em alterações no comportamento e nos circuitos neurais (ROSENZWEIG, 1996).

Para Kandel (1988), o ambiente diferencia e modela a forma e função das respostas de um organismo, a interação organismo-ambiente também diferencia e molda circuitos e redes neurais. Cada indivíduo tem um padrão comportamental característico, resultante de sua

história pessoal de reforçamento, assim como tem um sistema nervoso com características próprias, resultantes também de sua história de interação com o ambiente externo. De forma abrangente, a neuroplasticidade pode ser definida como uma mudança adaptativa na estrutura e nas funções do sistema nervoso, que ocorre em qualquer estágio da ontogenia, como função de interações com o ambiente interno ou externo ou, ainda, como resultado de injúrias, de traumatismos ou de lesões que afetam o ambiente neural (PHELPS, 1990).

A definição sobre as funções executivas abrange um conjunto de processos comportamentais complexos que inclui o planejamento e execução de atividades como controle de impulsos, iniciação de tarefas, memória de trabalho e atenção sustentada a partir de informações emocionais, atencionais e mnemônicas permitindo ao indivíduo a realização autônoma de atividades como a capacidade de estabelecer objetivos a partir da motivação e consciência de si e do ambiente (FUSTER, 2002).

Além dos lobos frontais, existem outras estruturas que apresentam uma ligação na execução dos comportamentos como o lobo parietal, que participa da atenção espacial, e o hipocampo, que pode ser visto como um sistema de coordenação executiva que liga representações através das áreas corticais. Outros estudos evidenciam que a cognição está ligada ao cerebelo e núcleos da base formando um circuito com o córtex pré-frontal (LENT, 2010).

Nos processos executivos, o córtex pré-frontal recebe informações perceptuais oriundas de áreas posteriores do encéfalo e utiliza esses dados no planejamento e na execução de uma determinada ação

em resposta aos inputs sensoriais de resposta motora ou linguagem (FUSTER, 2002).

No estudo de Machado (2003) com exames de Ressonância Nuclear Magnética (RNM) e Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (SPECT), foi detectado anormalidades anatômicas no corpo caloso, ventrículos intracranianos, cerebelo, lobo temporal, lobos occipitais e hipocampo. Já no SPECT, foram encontradas alterações funcionais no lobo frontal, lobos temporais, lobos parietais e nos núcleos da base.

As demandas cognitivas e emocionais do discurso são construídas em torno de uma atividade linguística contextualizada. Portanto, a codificação semântica é a tradução das informações sensoriais em uma representação significativa baseada na compreensão das palavras armazenadas na memória semântica, mas em determinadas situações essa codificação não é possível porque o significado ainda não existe na memória (DEHAENE, 2012).

De acordo com Ramachandran (2014 apud Moura, 2026), as funções executivas abrangem um conjunto de processos comportamentais complexos que permitem ao indivíduo a realização independente e autônoma de atividades dirigidas a metas. Essas funções dependem da integridade de processos volitivos como a capacidade de estabelecer objetivos a partir da motivação e consciência de si e do ambiente. Estão relacionados a vários processos cognitivos como planejamento, organização e prevenção das ações para atingir uma meta e um desempenho efetivo, através de tomada de decisões, desenvolvimento de estratégias, estabelecimento de prioridades, controle de impulsos, auto monitoramento, auto-direção e auto regulação da intensidade, do ritmo e outros aspectos qualitativos

comportamentais. Além disso, envolve processos emocionais e motivacionais como a ação intencional direcionada a um objetivo planejado, uma ação produtiva baseada na capacidade de dar início, manter, modificar ou interromper um complexo conjunto de ações e atitudes integradas organizadamente.

ESTRESSE DISFUNCIONAL: IMPLICAÇÕES PARA APRENDIZAGEM

De acordo com as pesquisas recentes, o estresse disfuncional pode levar as alterações no sono influenciando negativamente no rendimento acadêmico uma vez que as neurociências já provaram que o sono é um elemento primordial na manutenção da saúde mental e na aprendizagem.

A resposta humoral é regulada pelo eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (HPA). O hormônio cortisol, é liberado pela glândula adrenal em resposta a um aumento nos níveis sanguíneos do hormônio adrenocorticotrófico (ACTH), liberado pela hipófise anterior devido ao estímulo do hormônio liberador de corticotrofina (CRH) do hipotálamo. Os neurônios hipotalâmicos que secretam CRH são regulados pela amígdala e pelo hipocampo. Quando o núcleo central da amígdala é ativado, interfere no eixo HPA e a resposta ao estresse é emitida, sendo que a ativação inapropriada tem sido relacionada com os transtornos de ansiedade (WHARTIN, 2007).

O hipocampo contém receptores para glicocorticóides que são ativados pelo cortisol, e com altos níveis de cortisol circulante, participa da regulação por retroalimentação do eixo HPA, inibindo a liberação de CRH e conseqüentemente de ACTH e cortisol. A exposição contínua ao cortisol, em períodos de estresse crônico,

pode levar à disfunção e à morte dos neurônios hipocâmpais (BEAR, 2006).

Assim, o hipocampo começará a apresentar falhas em sua capacidade de controlar a liberação dos hormônios do estresse e de realizar suas funções de rotina. O estresse também influencia a aptidão de induzir a potenciação de longo prazo no hipocampo, o que provavelmente explica o porquê da falha de memória (LEDOUX, 2001).

A atividade elevada do córtex pré-frontal também tem sido relatada nos transtornos de ansiedade. Em resumo, a amígdala e o hipocampo regulam o sistema HPA e a resposta ao estresse de uma maneira coordenada, tanto com a hiperatividade da amígdala (BEAR, 2006),

Bear (2006) corrobora com LeDoux (2001) ao relacionar as memórias inconscientes estabelecidas por mecanismos de condicionamento pelo medo e com a diminuição de atividade do hipocampo, o qual participa no armazenamento de memórias conscientes durante uma situação de aprendizado traumático.

Segundo Izquierdo (2011), a modulação e consolidação da memória caracterizam-se, ou desenvolvem-se, com base em dois aspectos. O primeiro aspecto com relação à distinção da carga emocional, em que memórias de maior carga emocional se fixam melhor. O segundo aspecto acrescenta ao conteúdo das memórias a informação hormonal ou neuro-humoral, variável por vários fatores.

O neurotransmissor GABA (ácido gama-aminobutírico) é o principal neurotransmissor inibitório do SNC. A relação entre o GABA e a ansiedade evidencia-se no fato de que todos os ansiolíticos

conhecidos, facilitam sua ação. Seu efeito ansiolítico parece consistir em reduzir o funcionamento de grupos neuronais do sistema límbico, inclusive a amígdala e o hipocampo, responsáveis pela integração de reações de defesa contra ameaças (WHIDMAIER, 2016).

O estresse pode produzir deterioração da memória; lentificação no desenvolvimento do raciocínio; alteração nas funções executivas; comprometimento das tarefas motoras; diminuição da atenção; aumento da irritabilidade; fadiga e aumento da possibilidade de desenvolvimento de distúrbios psiquiátricos, neurológicos e cognitivos. Sendo assim, é necessário pensar na saúde mental como um fator fundamental para a aprendizagem.

Izquierdo (2011) ressalta que as (o) estudantes estressado ou em estado de pouco alerta não forma corretamente memórias em sala de aula. Um aluno submetido a alto nível de ansiedade depois da aula esquecerá o que aprendeu. Através da recepção sensorial, as informações começam a ser processadas e durante este processo a informação passa a ser uma percepção. Sendo assim, o ponto inicial para memórias, atitudes é também momento em que se atribui significados a partir de interpretações singulares advindas de experiências e memórias anteriores.

O giro do cíngulo anterior dorsal desempenha um papel chave no monitoramento e avaliação emocional. Ele integra informações autonômicas, emocionais e atencionais, com intuito de regular os estados emocionais e selecionar a resposta mais adequada e as prioridades sendo um ponto de integração de informações viscerais, atencionais e emocionais, que está crucialmente envolvido na regulação afetiva. Além disso, alguns autores têm sugerido que essa

área cerebral é um componente determinante para a experiência emocional consciente e para a representação central da estimulação autonômica. Ele monitora conflitos entre o estado funcional do organismo e qualquer nova informação que tem potencial de consequências afetivas (ALMEIDA, 2014 apud MOURA, 2026a).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das características mais valorizadas da espécie humana é a capacidade de raciocinar e a emoção muitas vezes é percebida como entorpecente da razão, no entanto, não existem atividades humanas que não estejam embasadas e sustentadas por alguma emoção (MATURANA, 2001).

Gazzaniga (2007), salienta a importância das emoções que permeiam a dinâmica interpessoal, pois as informações presentes são processadas, inclusive aquelas não verbais, como gestos, expressões faciais, movimentos corporais, entre outros.

Relvas (2012) ressalta que os estudos da neurociência vêm contribuindo para a práxis em sala de aula, na compreensão das dimensões cognitivas, emocionais e sociais no redimensionamento do sujeito aprendente. Lent (2008), assevera que as emoções envolvem uma série de reações químicas e neurais que influenciam os comportamentos implicados na aprendizagem.

Na atualidade, muitos neurocientistas trabalham para esclarecer e viabilizar a aproximação entre neurociência e educação para auxiliar na compreensão das bases neurobiológicas implicadas na aprendizagem tendo em vista o conteúdo emocional dos indivíduos.

Considerando tudo isso, como educadores, devemos necessariamente nos perguntar quais estratégias e formas de relacionamentos favorecem o melhor aprendizado na sala de aula, e que tipo de ambiente, contexto e ações são necessários para educar de maneira intencionalmente eficaz.

O conhecimento neurocientífico sobre a fisiologia da aprendizagem acontece por meio dos neurônios-espelho, portanto, por imitação. Esse conhecimento, auxilia os docentes na relação com as (o) estudantes sobre o viés das comunicações, emoções e comportamentos tais como confiança no constructo de autoeficácia.

Cabe ressaltar que a neurociência educacional surgiu para discutir as implicações dos estudos neurocientíficos em prol da educação. No momento atual, está se tornando um campo transdisciplinar com referenciais teóricos e metodológicos no campo da educação e das ciências cognitivas e comportamentais. Por outro lado, tem sido um desafio para a neurociência educacional integrar de forma consistente para estabelecer um diálogo profícuo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, A et al. Ansiedade (Serotonina e GABA). A loucura e o controle das emoções. Rev. Psicofisiologia, Minas Gerais, v. 1, n. 1 e 2, cap. 5, 1997.

ALMEIDA, R. M. M., Cabral, J. C. C., & Narvaes, R. (2015). Behavioural, hormonal and neurobiological mechanisms of aggressive behaviour in human and nonhuman primates. *Physiology & Behavior*, 143, 121–135.

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. Manual Diagnóstico Estatístico de transtorno Mental. Tradução: Maria Inês Correa Nascimento. Porto Alegre: Artmed, 2014.

AUSUBEL, D.P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, v. 1, 2003.

AUSUBEL, David Pearl). The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 210 p, 2000.

BARDIN, L. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011.

BEAR, MF; CONNORS, BW; PARADISO, MA. Transtornos mentais. Neurociências – Desvendando o sistema nervoso.

Porto Alegre: Artmed, 2ed, cap 21, p. 675-701, 2006.

BLISS TV, LOMO T. Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. J Physiol. 1973;232:331-56.

BRANDÃO, M. L.; As bases biológicas do comportamento: Introdução à neurociência. São Paulo: EPU, 2004.

BROCKINGTON, G. Neurociência e educação: investigando o papel da emoção na aquisição e uso do conhecimento científico. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Educação. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 199 pp. 2011.

BROGLIO C, Gomez A, Duran E, Ocaña FM, JiménezMoya F, Rodríguez F, et al. Hallmarks of a common forebrain vertebrate plan:

specialized pallial areas for spatial, temporal and emotional memory in actinopterygian fish. *Brain Res Bull.* 2005;66(4-6):277-81.

CABRAL, J. C. C., Tavares, P. de S., & de Almeida, R. M. M. (2016). Reciprocal effects between dominance and anger: A systematic review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 71, 761–771.

CABRAL, J. C. C., Tavares, P. S., Weydmann, G. J., das Neves, V. T., & de Almeida, R. M. M. (2017). Eliciting Negative Affects Using Film Clips and Real-Life Methods. *Psychological*.

CAMPBELL, R; MACSWEENEY, M; WATERS, D. Sign language and the Brain: a review. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, v.13, n.1, p. 3-20, 2008.

CANTERAS, N. S. Mentas emocionais, mentas racionais. In: LENT, R. (Ed.). *Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de neurociência*. São Paulo: Editora Atheneu, 2010.

CARVALHO, F. A. H. Neurociências e educação: uma articulação necessária na formação docente. *Trab. educ.* 2010, vol.8, n.3, pp.537-550. ISSN 1981-7746.

CATTANEO, L., & Rizzolatti, G. (2009). The mirror neuron system. *Archives of Neurology*, 66(5), 557-560.

COLLINS DR, PELLETIER JG, PARE D. Slow and fast (gamma) neuronal oscillations in the perirhinalcortex andlateral amygdala. *J Neurophysiol.* 2001;85(4):1661-72.

COSENZA, R. M.; GUERRA, L. B. *Neurociência e educação: como o cérebro aprende*. Porto Alegre: Artmed, 2011.

- DEHAENE, S. Os neurônios da leitura: como a ciência explica a nossa capacidade de ler. Porto Alegre: Penso, 2012.
- DALGLEISH, T. (2004). Timeline: The emotional brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(7), 583–589.
- DAMÁSIO, A. R. E o cérebro criou o homem. São Paulo: Companhia das Letras, 2011.
- DAMÁSIO, A. R. O Mistério da Consciência: Do corpo e das emoções do conhecimento de si. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.
- DAMÁSIO, A. R. O Erro de Descartes: Emoção, Razão e o Cérebro Humano. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.
- DAMASIO, A. R. Em busca de Espinosa: prazer e dor na ciência dos sentimentos. [S.l.]: Editora Companhia das Letras, 2004.
- DAMASIO, A. R.; TRANEL, D.; DAMASIO, H. Individuals with sociopathic behavior caused by frontal damage fail to respond autonomically to social stimuli. *Behavioural brain research*, Elsevier, v. 41, n. 2, p. 81–94, 1990.
- DAMASIO, H. et al. The return of phineas gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science*, American Association for the Advancement of Science, v. 264, p. 1102–1105, 1994.
- DEHAENE, S. Os neurônios da leitura - como a ciência explica a nossa capacidade de ler. Porto Alegre: Penso, 2012. FIORIN, J. L. Introdução ao pensamento de Bakhtin. São Paulo: Ática, 2010.

DOYERE V, LAROCHE S. Linear relationship between the maintenance of hippocampal long-term potentiation and retention of associative memory. *Hippocampus*. 1992;2:3948.

EICHENBAUM H. A cortical-hippocampal system for declarative memory. *Nature Rev Neurosci*. 2000;1:41-50.

EISENBERG, I. Does rejection hurt? An fMRI study of social exclusion. *Science* 2003. 302,290.

EISENBERG, I. The neural bases of social pain: Evidence for shared representations with physical pain, *Psychosom Med*. 2012 February; 74(2): 126–135.

ERTELT, D., Small, S., Solodkin, A., Dettmers, C., McNamara, A., Binkofski, F., & Buccino, G. (2007). Action observation has a positive impact on rehabilitation of motor deficits after stroke. *NeuroImage*, 36 Suppl 2, T164-173.

FREIRE, P. Professora sim, tia não – cartas a quem ousa ensinar. São Paulo, Editora Olha D'Água. 1997.

FRITH, C. D., & Frith, U. (2006). The neural basis of mentalizing. *Neuron*, 50(4), 531-534.

GAZZANIGA, M. S.; HEATHERTON, T. F. *Ciência Psicológica: mente, cérebro e comportamento*. 1ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

GAZZANIGA, M. *Neurociência cognitiva: a biologia da mente*. Porto Alegre: Artmed, 2006.

GOLEMAN, D. *Inteligência Emocional*. Rio de Janeiro: Objetiva, 1995.

GOLEMAN, D. Foco: a atenção e seu papel fundamental para o sucesso. Rio de Janeiro: objetiva, 2014.

GRAFTON, S. T., & Hamilton, A. F. D. C. (2007). Evidence for a distributed hierarchy of action representation in the brain. *Human Movement Science*, 26(4), 590-616.

GUERRA, L. B. O diálogo entre a neurociência e a educação: da euforia aos desafios e possibilidades. *Revista Interlocução*, v.4, n.4, p.3-12, 2011.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. Fisiologia humana e mecanismo das doenças. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2008. 639.

HEBB DO. *The Organization of Behavior*. New York: John Wiley Inc; 1949.

HICKOK, G. The Role of Mirror Neurons in Speech and Language Processing. *Brain and language*, 112(1), 2010.

HOUZEL, HS. O cérebro em transformação. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005.

IACOBONI, M. (2009). Imitation, empathy, and mirror neurons. *Annual Review of Psychology*, 60, 653-670, 2009.

IACOBONI, M., & Dapretto, M. The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nature Reviews. Neuroscience*, 7(12), 942-951, 2006.

IZQUIERDO, I Long-term Memory Persistence. *Future Neurology*. v. 5, p. 911-917, 2010.

JACKSON, P. L., Meltzoff, A. N., & Decety, J. (2005). How do we perceive the pain of others? A window into the neural processes involved in empathy. *NeuroImage*, 24(3), 771-779.

JERUSALINSKY D, KORNISIUK E, IZQUIERDO I. Cholinergic neurotransmission and synaptic plasticity concerning memory processing. *Neurochem Res*. 1997;22:507-15.

JODAR L, KANETO H. Synaptic plasticity: stairway to memory. *Jpn J Pharmacol* 1995;68:359-87.

KANDEL, E R. SCHWARTZ, J H. JESSELL, T M. Principles of Neural Science, 4 ed. McGraw-Hill, New York - USA. 2000.

KEMMERER, D. The two-level theory of verb meaning: an approach to integrating the semantics of action with the mirror neuron system. *Brain and language*, 112(1), 54-76, 2010.

KILNER, J. M., Friston, K. J., & Frith, C. D. (2007).

Predictive coding: an account of the mirror neuron system. *Cognitive Processing*, 8(3), 159-166.

KIM JJ, JUNG MW. Neural circuits and mechanisms involved in Pavlovian fear conditioning: a critical review. *Neurosci Biobehav Rev*. 2006;30(2):188-202.

KLUVER H, BUCY PC. "Psychic blindness" and other symptoms following bilateral temporal lobectomy in rhesus monkeys. *Am J Physiol*. 1937;119:352-3.

- KONORSKI J. Conditioned reflexes and neuron organization, Cambridge: Cambridge University Press; 1948.
- LANKSHEAR, C., & KNOBEL, M. Pesquisa pedagógica. Tradução: M. F. Lopes. Porto Alegre: Artmed, 2008.
- LEBEL, R. M., Pineda, J. A., & Sharma, A. (2009). Motor auditory-visual integration: The role of the human mirror neuron system in communication and communication disorders. *Journal of Communication Disorders*, 42(4), 299-304.
- LEDOUX, J. E.; DAMASIO, A. R. Emoções e sentimentos. In: KANDEL, E. (Ed.). *Fundamentos da neurociência*. Rio de Janeiro: Artmed, 2014. cap. 48, p. 938-951.
- LEDOUX, J. The amygdala. *Current Biology*, Elsevier, v. 17, n. 20, p.868-874, 2007.
- LEDOUX, J. The emotional brain, fear and the amygdala. *Cellular and Molecular Neurobiology*. 2003; 23:727-38.
- LEDOUX, J. Onde os desregramentos estão. *O Cérebro Emocional: os misteriosos alicerces da vida emocional*. Rio de Janeiro: Objetiva, 8ed, cap 8, p. 206-243, 2001.
- LEDOUX, J. E. Emotion circuits in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, v. 23, n. 1, p. 155-184, 2000.
- LEDOUX JE. *The emotional brain*. New York: Simon and Schuster; 1996.

LEDOUX, J. Emotion and the limbic system concept. Concepts in neuroscience, v. 2, p. 169–199, 1991.

LENT, R. Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de neurociências. Rio de Janeiro: Atheneu, 2010.

LENT. Neurociência da mente e do comportamento. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2008.

LEVITAN IB, KACZMAREK LK. Learning and memory.

In: Levitan IB, Kaczmarek LK, eds. TheNeuron: Cell and Molecular Biology. Oxford: Oxford University Press; 1991. p. 395-423.

LUDKE, M; Marli E. D. A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. 2ª ed. Rio de Janeiro: E.P.U, 2013.

MACDONALD , G. Why Does Social Exclusion Hurt? The Relationship Between Social and Physical Pain

Psychological Bulletin Copyright 2005 by the American Psychological Association 2005, Vol. 131, No. 2, 202–223

MACLEAN, P. D. Psychosomatic disease and the “visceral brain”; recent developments bearing on the papez theory of emotion. Psychosomatic medicine, US: Lippincott Williams & Wilkins, 1949.

MCLEAN PD, DELGADO JM. Electrical and chemical stimulation of frontotemporal portion of limbicsystem in the waking animal. Electroencephalogr. Clin Neuropsychol. 1953;Suppl 5:91-100.

MACLEAN, P. D. Some psychiatric implications of physiological studies on frontotemporal portion of limbic system (visceral brain). *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, Elsevier, v. 4, n. 4, p. 407–418, 1952. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 30.

MARSHALL, L. H.; MAGOUN, H. W. *Discoveries in the human brain*. New Jersey:Humana Press, Totowa, NJ, 1998.

MASON, L. Bridging neuroscience and education: A twoway path is possible. *cortex*, Elsevier, v. 45, n. 4, p. 548– 549, 2009.

MATURANA, H. R. *A ontologia da realidade*. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2002.

MATURANA, H. R. *Cognição, ciência e vida cotidiana*. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2001.

MATURANA, H; VARELA, F. *A árvore do conhecimento: as bases biológicas do entendimento humano*. Campinas: PSY II, 1995.

MATURANA, H. *Emoções e linguagem na educação e na política*. Belo Horizonte: UFMG, 1998.

MAYBERRY, R. I. Cognitive development in deaf children: the interface of language and perception in neuropsychology. In Elsevier Science B.V. *Handbook of Neuropsychology*, 2nd Edition, Vol. 8, Part II S.J. Segalowitz and I. Rapin (Eds), p. 71-107, 2002.

MEDINA, J. F. et al. Parallels between cerebellum-and amygdala-dependent conditioning. *Nature Reviews Neuroscience*, Nature Publishing Group, v. 3, n. 2, p. 122, 2002.

MORIN, E. O enigma do Homem, para uma Nova Antropologia. Trad. Fernando.C.Ferro (2ª ed.). Rio de Janeiro: Zaha, 1979.

MOURA, RMBL. Disfunção no sistema dos neurônios-espelho no transtorno do espectro autista (tea): implicações para aprendizagem. Rvista fisio&terapia, v. 30, p. 50-51, 2026.

MOURA, R. M. B. L. et al. Violência de Gênero nas Escolas: Análise do Viés Neurobiológico. Revista Tópicos, Rio de Janeiro, v. 4, n. 32, p. 1-18, 2026a.

MORA, F. Como funciona o cérebro. Porto Alegre: Artmed, 2004.

NÓVOA, A. (Org). Os professores e a sua formação. Portugal: Porto, 1999.

OBERMAN, L. M., & Ramachandran, V. S. (2007). The simulating social mind: the role of the mirror neuron system and simulation in the social and communicative deficits of autism spectrum disorders. *Psychological Bulletin*, 133(2), 310-327.

OZTOP, E (2006). Mirror neurons and imitation: a computationally guided review. *Neural Networks: The Official Journal of the International Neural Network Society*, 19(3), 254-271.

PANKSEPP, J. (2005a). On the embodied neural nature of core emotional affects, *Journal of consciousness studies*, 12, 158-184.

PANKSEPP, J. (2005b). Affective consciousness: core emotional feelings in animals and humans, *Cognition and Consciousness*, 14, 30–80. PAZ R, PELLETIER JG, BAUER EP, PARE D. Emotional

enhancement of memory via amygdala-driven facilitation of rhinal interactions. *Nat Neurosci.* 2006;9(10):1321-9.

PATON JJ, BELOVA MA, MORRISON SE, SALZMAN CD. The primate amygdala represents the positive and negative value of visual stimuli during learning. *Nature.* 2006;439(7078):865-70.

PAVLIDES C, WINSON J. Influences of hippocampal place cell firing in the awake state on the activity of these cells during subsequent sleep episodes. *J Neurosci.* 1989;9(8):2907-18.

PERRENOUD, P. 10 Novas competências para Ensinar. Porto Alegre: ARTMED, 2000.

PIAGET, J. (1980). *Psicologia da criança*. São Paulo/Rio de Janeiro: Difel.

PÓVOA, H; CALLEGARO, Jz. (2005). *Nutrição Cerebral*. São Paulo: Objetiva.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. 5. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PRICE DD. Psychological and neural mechanisms of the affective dimension of pain. *Science.* 2000; 288:1769–72.

RAMACHANDRAN, V. S., *O que o cérebro tem para contar: desvendando os mistérios da natureza humana*. 1 ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2014.

RAMACHANDRAN V S. Espelhos Quebrados. Scientific American, 2006.

RAUCH SL, SHIN LM, PHELPS EA. Neurocircuitry models of posttraumatic stress disorder and extinction: human neuroimaging research - past, present, and future. Biol Psychiatry. 2006;60(4):376-82.

REPA JC, MULLER J, APERGIS J, DESROCHERS TM, ZHOU Y, LEDOUX JE. Two different lateral amygdala cell populations contribute to the initiation and storage of memory. Nat Neurosci. 2001;4(7):724-31.

RELVAS, M. Neurociência na prática pedagógica. Rio de Janeiro: Wak, 2012.

RIBEIRO S, GERVASONI D, SOARES ES, ZHOU Y, LIN SC, Pantoja J, et al. Long-lasting novelty-induced neuronal reverberation during slow-wave sleep in multiple forebrain areas. PLoS Biol. 2004.

RICHARD, L. Neurociência da Mente e do Comportamento. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

RIOULT-PEDOTTI MS, FRIEDMAN D, Donoghue JP. Learning-induced LTP in neocortex. Science. 2000;290(5491):533-6.

RIZZOLATTI, G. Mirror neurons and their clinical relevance. Nature Clinical Practice. Neurology, 5(1), 24-34, 2009.

RIZZOLATTI, G. The Mirror Neuron System and Imitation.

Neuroscience to Social Science. Vol.1: Cambridge, MA: MIT Press, 2005.

RIESGO, R. Transtornos da aprendizagem - Abordagem neurobiológica e multidisciplinar. Porto Alegre: Artmed; 2008.

SQUIRE, L. R.; KANDEL, E. R. Memória: da mente às moléculas. Porto Alegre: Artmed, 2003.

STAKE, R E. Pesquisa Qualitativa: estudando como as coisas funcionam. Trad. Karla Reis. Porto Alegre/RS: Penso/Artmed, 2011.

SCHMIDT R. Cell-adhesion molecules in memory formation. Behav Brain Res. 1995;66:65-72.

SCHIFFER, RB. Distúrbios Psiquiátricos na Prática Médica. Tratado de Medicina Interna. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 21ed, vol 2, cap 450, p. 2285-2295, 2001.

SCHOENBAUM G, SETLOW B, RAMUS SJ. A systems approach to orbitofrontal cortex function: recordings in orbitofrontal cortex reveal interactions with different learning systems. Behav Brain Res. 2003;146(12):19-29.

SCOTT SK, YOUNG AW, CALDER AJ, HELLAWELL DJ, AGGLETON JP, Johnson M. Impaired auditory recognition of fear and anger following bilateral amygdala lesions. Nature. 1997;385(6613):254-7.

SQUIRE LR. Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. Neurobiol LearnMem. 2004; 82:171-7.

SQUIRE LR, KANDEL ER. Memory: From mind to molecules. new york: w.h. freeman and company; 2000.

SQUIRE LR. Memory and brain. Oxford: Oxford University Press; 1987.

SCOVILLE WB, MILNER B. Loss of recent memory after bilateral hippocampus lesions. J NeurolNeurosurg Psychiatr. 1957;20:11-21.

TARDIF, M. LESSARD, Claude. O trabalho docente: elementos para uma teoria da docência como profissão de interações humanas. Rio de Janeiro

TARDIF, M. Saberes docentes e formação profissional. 14. ed. Petrópolis: Vozes, 2014.

TULVING E. Organization of memory: quo vadis? In: Gazzaniga MS, ed. The CognitiveNeuroscience. Cambridge: MIT Press; 1995. p. 839-847.

VIZZOTTO, Patrick Alves. A Neurociência na formação do professor de Física: Análise curricular das licenciaturas em Física da região Sul do Brasil. Revista Insignare Scientia, volume 02, n. 2, p. 150-165, 2019.

VOGT, S (2007). From visuo-motor interactions to imitation learning: behavioural and brain imaging studies. Journal of Sports Sciences, 25(5), 497-517.

VYGOTSKY, L. Pensamento e Linguagem. São Paulo: Vozes, 2004.

VYGOTSKY, L. A construção do pensamento e da linguagem. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

VYGOTSKY, L. A Formação social da mente. São Paulo: Martins Fontes, 1989.

VYGOTSKY, L. Interaction between learning and development. From: Mind and Society (p. 79-97).

Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.

VYGOTSKY, L. Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1962.

WAN, C. Y., Demaine, K., Zipse, L., Norton, A., & Schlaug, G. (2010). From music making to speaking: engaging the mirror neuron system in autism. Brain Research Bulletin, 82(3- 4), 161-168.

WEISKRANTZ L. Behavioral changes associated with ablation of the amygdaloid complex in monkeys. J Comp Pshysiol Psychol. 1956;49:381-91.

WHARTIN, RN. Transtornos de Ansiedade. Tratado de Neurologia. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 11ed, cap 160, p. 1050-1054, 2007.

WHIDMAIER, H. R.; RAFF, H.; STRANG, K.T.; Fisiologia humana: os mecanismos das funções corporais. Tradução: Patricia Lydie Voeux. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

YANIV D, RICHTER-LEVIN G. LTP in the rat basal amygdala induced by perirhinal cortex stimulation in vivo. Neuroreport. 2000;11(3):525-30.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookmann, 2015.

¹ Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1198252075678764>