



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Programa de Pós-Graduação em Educação
Mestrado e Doutorado

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE EDUCAÇÃO, COMUNICAÇÃO E ARTES/CECA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
NÍVEL DE MESTRADO/PPGE
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: EDUCAÇÃO
LINHA DE PESQUISA: FORMAÇÃO DE PROFESSORES E PROCESSOS DE
ENSINO E DE APRENDIZAGEM**

ANDRESSA LOISE ZARDO

**CONVERGÊNCIAS ENTRE EDUCAÇÃO E NEUROCIÊNCIAS: FUNÇÕES
EXECUTIVAS NA EDUCAÇÃO INFANTIL**

**CASCVEL – PR
2022**



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Programa de Pós-Graduação em Educação
Mestrado e Doutorado

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE EDUCAÇÃO, COMUNICAÇÃO E ARTES/CECA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
NÍVEL DE MESTRADO/PPGE
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: EDUCAÇÃO
LINHA DE PESQUISA: FORMAÇÃO DE PROFESSORES E PROCESSOS DE
ENSINO E DE APRENDIZAGEM**

ANDRESSA LOISE ZARDO

**CONVERGÊNCIAS ENTRE EDUCAÇÃO E NEUROCIÊNCIAS: FUNÇÕES
EXECUTIVAS NA EDUCAÇÃO INFANTIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação – PPGE, área de concentração: educação, linha de pesquisa: formação de professores e processos de ensino e de aprendizagem, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná/UNIOESTE – Campus de Cascavel, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Tânia Maria Rechia Schroeder

**CASCADEL – PR
2022**

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Zardo, Andressa Loise

Convergências entre educação e neurociências: funções executivas na educação infantil / Andressa Loise Zardo; orientadora Tânia Maria Rechia Schroeder. -- Cascavel, 2022. 101 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação, 2022.

1. Neurociências e educação. 2. Neurociência educacional. 3. Funções Executivas. 4. Educação Infantil. I. Rechia Schroeder, Tânia Maria, orient. II. Título.



unioeste
Universidade Estadual do Oeste do Paraná



PPGE
Programa de Pós-Graduação em Educação
Mestrado e Doutorado



unioeste
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Cascavel CNPJ 78680337/0002-65
Rua Universitária, 2069 - Jardim Universitário - Cx. P. 000711 - CEP 85819-110
Fone:(45) 3220-3000 - Fax:(45) 3324-4566 - Cascavel - Paraná



PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO

ANDRESSA LOISE ZARDO

**CONVERGÊNCIAS ENTRE EDUCAÇÃO E NEUROCIÊNCIAS: FUNÇÕES
EXECUTIVAS NA EDUCAÇÃO INFANTIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Educação, área de concentração Educação, linha de pesquisa Formação de professores e processos de ensino e de aprendizagem, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a) - Tânia Maria Rechia Schroeder

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Adrian Alvarez Estrada

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Claudia Barcelos de Moura Abreu

Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

Cascavel, 31 de maio de 2022

DEDICATÓRIA

À minha mãe, que nunca mediu esforços para me ajudar a construir minha melhor versão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu marido e amigo Leonardo pelo apoio incondicional desde o início de minha trajetória, por me esperar em casa todos os dias com um abraço. Obrigada por sempre fazer do nosso espaço, seja onde for, um lar.

Agradeço a minha mãe Maria Helena, minha inspiração de vida e de docente, por todas as palavras gentis e carinho.

Agradeço ao meu mais fiel companheiro Rospo, meu cãozinho salsicha, que em todos os momentos de estudo e escrita, me fazia me sentir mais feliz com sua presença.

Obrigada às amigas Amanda, Alessandra e Jade, pelos ombros amigos prontos para me receber a toda hora. Agradeço, especialmente, à Hellen, minha melhor amiga de tantos anos, que se dispôs a me ouvir, me aconselhar e a conversar em todos os momentos em que me senti sozinha. Obrigada por aguentar tantas horas de chamada telefônica para ouvir minhas ideias de pesquisa e desabafos.

Aos meus amigos do curso de pedagogia, que tanto me auxiliaram nestes anos, por toda torcida e boas energias.

Agradeço a minha orientadora Tânia por suas orientações preciosas. Obrigada por ter acreditado no meu potencial, pelos ensinamentos e valioso tempo que passamos juntas. Obrigada por todo acolhimento, compreensão e extraordinária amizade, meu carinho e gratidão será eterno.

Agradeço aos membros da banca avaliadora, professores Profa. Dra. Claudia Barcelos de Moura Abreu e Prof. Dr. Adrian Alvarez Estrada, pelas ricas contribuições.

Aos professores do colegiado de pedagogia e mestrado, por todo o conhecimento compartilhado.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, por ter sido minha segunda casa nesses últimos anos.

Muito obrigada.

“Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes”

(Leonardo da Vinci)

ZARDO, Andressa Loise. **Convergências entre educação e neurociências: funções executivas na educação infantil**. 2022, 101f. Dissertação (Mestrado em Educação). Programa de Pós-Graduação em Educação. Área de concentração: Educação. Linha de Pesquisa: Formação de Professores e Processos de Ensino e de Aprendizagem. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Cascavel, 2022.

RESUMO

O avanço nas tecnologias de neuroimagem permitiram um maior esclarecimento das funções do cérebro de maneira a significar uma possível utilização das neurociências no campo da educação, com a finalidade de contribuir aos processos de ensino e aprendizagem. Os educadores são profissionais que estão em constante contato com os alunos, portanto conseguem intervir nos processos neurais do aprendiz, preparando-os para receber os conhecimentos escolares. Apesar da potencialidade, é importante considerar que existem limitações a respeito do que as neurociências podem propiciar à educação, principalmente no que refere ao contexto social, muito expressivo na aprendizagem. Considerando estes aspectos, o presente estudo trata da neurociência educacional no sentido da integração de conhecimentos transdisciplinares que vão ao encontro aos objetivos propostos pela escola, que visem melhorar os processos de ensino e aprendizagem, pertinentes à prática e não a favor da biologização da educação. Desse modo, a pesquisa foi direcionada de maneira a responder o seguinte questionamento: como as funções executivas se articulam às práticas pedagógicas na educação infantil? Assim, esta dissertação objetivou identificar como os conhecimentos das neurociências e da educação, focado nas funções executivas, podem convergir de modo a contribuir para a prática pedagógica. Para tanto, dividimos esta dissertação em três momentos: o primeiro consiste em uma revisão de literatura que traz os aspectos anatômicos e histórico das neurociências e suas possíveis contribuições para a prática pedagógica. O segundo traz um enfoque das contribuições para a prática pedagógica focado em funções executivas na educação infantil, fundamentado principalmente nos estudos e pesquisas da autora Adele Diamond. O terceiro momento compreende uma análise reflexiva da produção científica em neurociências e educação do que foi se mostrou relevante durante a revisão bibliográfica realizada para compor o referencial teórico da dissertação. A partir desta pesquisa, podemos constatar que as neurociências apresentam contribuições diversas à prática pedagógica, incluindo, como exemplo, as cronobiologia do sono, os processos de memória e atenção, as funções executivas e a música. Foi possível observar que há diversas estratégias que podem ser introduzidas no cotidiano escolar e na prática do professor para o desenvolvimento das funções executivas. O trabalho de treinamento das funções executivas no ambiente escolar pode ser a diferença crucial para um melhor desempenho escolar posterior. Nas análises da literatura foi possível notar que muitos autores neurocientistas abordam a aprendizagem, mas poucos professores arriscam-se em abordar as neurociências na educação. Em alguma medida, falar sobre neurociências no campo da educação, de maneira transdisciplinar, parece configurar-se como um desafio que, mesmo diante de seu potencial, traz pouca credibilidade. Por fim, concluiu-se também que a figura do professor e sua contribuição, neste meio, é estigmatizada, uma vez que, apesar das afirmações de necessidade da construção de um campo transdisciplinar, os conhecimentos docentes pouco tem espaço nas

pesquisas da neurociência educacional, o que apenas afasta a possibilidade de um diálogo entre as ciências médicas, psicológicas e educacionais.

Palavras-chave: Neurociências e educação; Neurociência educacional; Funções Executivas; Educação Infantil.

ZARDO, Andressa Loise. **Convergences between education and neurosciences: executive functions in early childhood education.** 2022, 101f. Thesis (Master's in Education). Concentration area: Society, State and Education. *Stricto sensu* Graduate Program in Education. Western Paraná State University – UNIOESTE, Cascavel, 2022.

ABSTRACT

Advances in neuroimaging technologies have allowed a greater clarification of brain functions which may mean a possible use of technologies in the field of education with a purpose of contributing to the teaching and learning processes. Educators are professionals who are in constant contact with students, so they are able to intervene in the learner's neural processes, preparing them to receive school knowledge. Despite its potential, it is important to consider there are limitations regarding what neurosciences can provide to education, especially with regard to the social context, which is very expressive in learning. Considering these aspects, the present study compromises with educational neuroscience in the sense of integrating transdisciplinary knowledge that meets the objectives proposed by the school, which aims to improve the teaching and learning processes, relevant to practice and not favoring the biologization of education. In this way, the research was directed in order to answer the following question: how are executive functions articulated with pedagogical practices in early childhood education? Thus, this dissertation aimed to identify how the knowledge of neurosciences and education, focused on executive functions, can converge in order to contribute to pedagogical practice. Therefore, we divided this dissertation into three moments: the first consists of a literature review that brings the anatomical and historical aspects of neurosciences and their possible contributions to pedagogical practice. The second focuses on the contributions to pedagogical practice in executives in early childhood education, based mainly on studies and research by Adele Diamond. The third moment consists in a reflective analysis of the scientific production in neuroscience and education of what was shown to be relevant during the literature review. From this research, we can see that as neurosciences are present in diverse contributions to pedagogical practice, including, chronobiology of sleep, memory and attention processes, such as executive functions and music. In the research, several strategies were observed that can be used in the teacher's daily life and possibly for the development of executive functions. The work of training executive functions in the school environment can be crucial for better school performance later on. In the literature searches it was possible to notice that many neuroscientist authors approach learning, but few teachers teach education in approaching neurosciences. To some extent, talking about neuroscience in the field of education, in a transdisciplinary way, seems to be a challenge that, even in the face of its potential, has little credibility. Finally, it was also concluded that the figure of the teacher and his contribution, in this environment, is stigmatized since, despite one of the statements of a need to build a transdisciplinary field, taching knowledge has little space in educatinoal neurocience research, which only decreases the possibility of a dialogue between the medical, psychological and educational sciences.

Keywords: Neuroscience and education; Educational neuroscience; Executive functions; Early childhood education.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico	Título	Pág.
Gráfico 1	– Publicações sobre neurociência na base de dados PubMed	68
Gráfico 2	– Comparação de publicações na área de neurociências e neurociência educacional na base de dados PubMed a partir do ano de 1945.	69
Gráfico 3	– Número de publicações para a palavra-chave " <i>educational neuroscience</i> " nas bases de dados PubMed e ERIC.	70
Gráfico 4	– Número de publicações para o termo "funções executivas"	71

LISTA DE FIGURAS

Imagem	Título	Pág.
Imagem 1	– Sistema nervoso central	7
Imagem 2	– Lobos cerebrais	8
Imagem 3	– Imagem real da secção de um cérebro humano demonstrando a divisão entre substância branca e substância cinzenta	9
Imagem 4	– Representação imagética do cérebro humano: substância branca e substância cinzenta	10
Imagem 5	– Neurônio	11
Imagem 6	– Fotografia de crânio com mais de 7.000 mil anos com evidências do procedimento cirúrgico de trepanação em dois locais, indicados pelas setas	14
Imagem 7	– Representação da trepanação na pintura “A extração da pedra da loucura”, do holandês Hieronymus Bosch	14
Imagem 8	– A) Papiro cirúrgico de Edwin Smith. B) Palavra encéfalo	15
Imagem 9	– Ilustração de Descartes demonstrando o trabalho da mente e cérebro	17
Imagem 10	– A divisão das regiões do encéfalo de acordo com a frenologia de Gall	20
Imagem 11	– Localização cerebral da área de Broca e área de Wernicke	22
Imagem 12	– Modelo citoarquitetônico de Brodmann	24
Imagem 13	– Localização do córtex pré-frontal	39
Imagem 14	– Funções executivas centrais e complexas	42
Imagem 15	- Programa CogMed®	48
Imagem 16	– Ativação do córtex pré-frontal	58
Imagem 17	- Diagrama da melhora na proficiência das FEs por meio de programas ou intervenções	60
Imagem 18	- Blocos de corsi na visão do examinador	63
Imagem 19	- Demonstração do Teste de Trilhas B	63
Imagem 20	- Torre de Londres	64
Imagem 21	- Torre de Hanoi (ToH)	65

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Siglas	Significado
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
BRIEF	<i>Behavior Rating Inventory of Executive Functions</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CMEIs	Centros Municipais de Educação Infantil
CSRP	<i>Chicago School Readiness Project</i>
EF	Ensino Fundamental
ERIC	<i>Education Resources Information Center</i>
FEs	Funções executivas
JCR	<i>Journal Citation Reports</i>
PATHS	<i>Promoting Alternative Thinking Strategies</i>
PIAFEX	Programa de Intervenção em Autorregulação e Funções Executivas
SNC	Sistema nervoso central
TOH	Torre de Hanói
TDAH	Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
WCST	Teste de Classificação de Cartas Wisconsin

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	NEUROCIÊNCIAS E EDUCAÇÃO.....	5
2.1	ANATOMIA DO SISTEMA NERVOSO: UMA REVISÃO INTRODUTÓRIA	6
2.1.1	Sistema nervoso central	6
2.1.2	Os neurônios	10
2.1.3	Células gliais	12
2.2	O HISTÓRICO DAS NEUROCIÊNCIAS	13
2.2.1	Unificação mente e corpo	18
2.2.2	Mapeamento cerebral.....	19
2.2.3	Visão holística do encéfalo	21
2.2.4	As descobertas de Paul Broca e Karl Wernicke.....	21
2.2.5	As descobertas de Camillo Golgi e Santiago Ramón y Cajal.....	23
2.2.6	Teorias e evolução	25
2.3	CONVERGÊNCIAS ENTRE NEUROCIÊNCIAS E EDUCAÇÃO: ALGUMAS POSSIBILIDADES	26
2.3.1	Das limitações das neurociências.....	27
2.3.2	Dos desafios da educação e educadores	29
2.3.3	Das possibilidades e contribuições.....	31
3	A COMPLEXIDADE DO COMPORTAMENTO: FUNÇÕES EXECUTIVAS	37
3.1	FUNÇÕES EXECUTIVAS: DEFINIÇÃO, CONCEITOS E DESENVOLVIMENTO	37
3.1.1	Funções executivas centrais e complexas.....	40
3.2	FUNÇÕES EXECUTIVAS: DA IMPORTÂNCIA TEÓRICA À PRÁTICA	44
3.2.1	Desenvolvimento das funções executivas em crianças: abordagens práticas 48	
3.2.2	Avaliação das funções executivas	60
3.2.2.1	Avaliação de Funções Executivas centrais.....	62
3.2.2.2	Avaliação de Funções Executivas complexas	64
4	NEUROCIÊNCIAS: UM TEMA EMERGENTE	67

4.1	NEUROCIÊNCIAS NAS PESQUISAS DA EDUCAÇÃO	72
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
	REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação sobre as convergências entre educação e as neurociências¹ foi elaborada durante o percurso de formação na Pós-Graduação em Educação, nível de mestrado, na linha de pesquisa formação de professores da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Cascavel-PR.

De início, minha trajetória formativa começou na medicina veterinária. Me graduei no referido curso em 2016 e dois anos mais tarde decidi que mudaria minha carreira profissional para a área da educação. Ao ingressar no curso de pedagogia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em 2019, entre reflexões pessoais a respeito da formação de professores, pesquisei na grade curricular do curso se haviam disciplinas que envolviam compreender as questões biológicas do aprendizado.

Com surpresa, descobri que a temática não era abordada por nenhuma das disciplinas. Passei, então, a procurar externamente à universidade uma maneira de aprender mais sobre a temática, o que suscitou também a curiosidade de compreender o porquê da ausência destes conteúdos. Nesta época, passava-me pela mente o seguinte questionamento: Como é possível ensinar objetivando o aprendizado, sem que se saiba como ele ocorre?

Durante os meses iniciais do curso me interessei pelo programa de iniciação científica e, por sugestão da minha professora orientadora, minha pesquisa se direcionou para o campo de conhecimentos convergentes entre a educação e as neurociências. Minha formação inicial, em medicina veterinária, permitiu-me mergulhar nas questões biológicas com um maior entendimento, sem receios dos termos complexos que, muitas vezes, impedem o contato entre estas duas ciências.

Diante disto, ao ingressar no mestrado na linha de pesquisa de formação de professores, procurei prosseguir com a pesquisa e aprofundar estes conhecimentos. Em meio aos estudos sobre as convergências entre educação e as neurociências, me

¹ Os estudos científicos que abordam o funcionamento desse sistema nos seres humanos, frequentemente denominado neurociência, na verdade, é um conjunto de ciências. O termo mais correto a ser utilizado, quando possível, é, portanto, neurociências, no plural (LENT, 2010).

deparei com as funções executivas² como um achado de pesquisa e, posteriormente, ao compreender melhor a temática, convencida de sua relevância, tornei-a meu objeto de estudo. Assim, busquei atender ao objetivo de pesquisa por meio da seguinte pergunta: como as funções executivas se articulam às práticas pedagógicas na educação infantil?

As evoluções nas tecnologias para realização de exames de neuroimagem permitiram uma maior elucidação da função do cérebro e do sistema nervoso de modo que estes esclarecimentos apontam para uma possível utilização da neurociência no âmbito escolar, a fim de contribuir para os processos de ensino e aprendizagem (LENT, 2010). Nesta mesma linha de pensamento, podemos notar que as neurociências e a educação têm o potencial de comunicar-se diretamente, uma vez que o cérebro é considerado o órgão da aprendizagem ou indiretamente, já que as neurociências ajudam a moldar as teorias na psicologia e a psicologia influencia a educação (THOMAS *et al.*, 2019).

Na apresentação de seu livro a respeito das articulações entre as neurociências e a educação, Cosenza e Guerra (2011) afirmam que educadores, da mesma maneira que psiquiatras, neurologistas e psicólogos, são os profissionais que mais atuam com o cérebro e que, “mais do que intervir quando ele não funciona bem, os educadores contribuem para a organização do sistema nervoso do aprendiz e, portanto, dos comportamentos que ele apresentará durante a vida” (p. 7), sendo assim surpreendente que os profissionais docentes não tenham contato com conhecimento sobre o funcionamento cerebral.

Sob esta mesma perspectiva, Amran *et al.* (2019) ressaltam que o professor não apenas ensina o aluno o conteúdo escolar, mas também educa seus cérebros para processar estes conhecimentos. Contudo, segundo os autores, pode-se observar que uma maioria docente não compreende tais processos cognitivos e privilegiam os aspectos do programa de ensino.

É importante ressaltar que as neurociências não objetivam substituir as teorias e estudos educacionais. Nesse aspecto, existem limitações para o que as neurociências podem oferecer para a prática pedagógica, principalmente em relação

² As “funções executivas se referem a um conjunto de habilidades responsáveis pelo controle *top-down* do comportamento. Ou seja, essas habilidades atuam no controle e na regulação de outros processos comportamentais, o que inclui cognição e emoção” (DIAS; SEABRA, 2013, p. 206).

ao contexto social, que é muito expressivo para o aprendizado (VARMA *et al.*, 2008). Apesar disso, quando os conhecimentos sobre as neurociências são aplicados na área educacional de maneira complementar, podem auxiliar a educação a encontrar novas ideias a respeito dos processos de ensino e de aprendizagem.

Segundo Cosenza e Guerra (2011), se esse conhecimento for apropriado pelos docentes, essas informações podem colaborar para êxito de algumas das práticas pedagógicas ou ajudar a compreender por que não houve sucesso em sua aplicação. Verifica-se que:

Em virtude do fato de que o cérebro é um órgão biológico e, portanto, sujeito a restrições metabólicas, pode haver ligações diretas. Fatores como suprimento de energia, nutrição, resposta aos hormônios do estresse e poluição ambiental podem potencialmente influenciar a função cerebral, incluindo o aprendizado (THOMAS *et al.*, 2019, p. 479, tradução nossa).

Sabendo da possibilidade dos campos das neurociências e da educação interagirem de maneira transdisciplinar, uma pesquisa realizada por Bartoszeck e Bartoszeck (2009) demonstrou que mais de 80% dos professores entrevistados acreditam que um maior conhecimento sobre o funcionamento do cérebro pode contribuir de alguma maneira para as práticas de ensino e aprendizagem. Mesmo que os docentes se mostrem positivos quanto ao estudo e aplicação das neurociências, 94,6% das matrizes curriculares dos cursos de pedagogia não contemplam disciplinas que tenham relação com as neurociências (GROSSI *et al.*, 2014).

Portanto, em resposta às inquietações que nos levaram ao problema de pesquisa, estabelecemos como objetivo geral identificar como os conhecimentos das neurociências e da educação, focado nas funções executivas, podem convergir de modo a contribuir para a prática pedagógica. Em relação aos objetivos específicos, listamos:

- a) Mapear o histórico dos estudos e surgimento das neurociências.
- b) Demonstrar possíveis contribuições das neurociências para a prática pedagógica.
- c) Apresentar a importância das funções executivas para o desenvolvimento do aluno da educação infantil.
- d) Analisar a produção científica em neurociências e educação, focado em funções executivas na educação infantil.

- e) Analisar possíveis convergências das neurociências e da educação para prática pedagógica.

Para a execução do estudo, optamos por desenvolver uma pesquisa que se divide em quatro momentos: 1) Uma revisão de literatura narrativa para construção do referencial teórico dos dois primeiros capítulos, que se constituem em unir as informações coletadas na literatura clássica na área das neurociências e da educação e em artigos publicados nos últimos cinco anos em revistas de alto impacto. 2) Uma revisão de literatura com foco em funções executivas na educação infantil em diversas bases de dados como *Google Scholar*, ERIC (*Education Resources Information Center*), Catálogo de teses e dissertações CAPES e PubMed, 3) A interpretação dos dados coletados e 4) uma análise reflexiva das possíveis convergências das neurociências e da educação para prática pedagógica.

Esta dissertação está organizada em três capítulos. No primeiro capítulo, intitulado neurociências e educação, abordamos os aspectos históricos das neurociências, bem como fundamentos que são essenciais para a compreensão da temática, além das contribuições e possibilidades das neurociências para a educação que são significativas para a prática pedagógica, por meio de uma revisão de literatura narrativa realizada com autores referência neste campo de estudo. Esta subdivisão da dissertação se utilizará da literatura clássica da área das neurociências para apresentar conceitos importantes que se relacionam com a aprendizagem.

No segundo capítulo são apresentados os conceitos a respeito das funções executivas e suas ligações com o aprendizado e desenvolvimento na educação infantil. Para tanto, a principal autora utilizada será Adele Diamond, referência internacional em pesquisa na área de funções executivas.

O terceiro capítulo aborda uma análise reflexiva da produção científica em neurociências e educação do que foi se mostrou relevante durante a revisão bibliográfica realizada para compor o referencial teórico da dissertação.

2 NEUROCIÊNCIAS E EDUCAÇÃO

Os objetivos deste capítulo são conhecer o histórico dos estudos das neurociências e seu surgimento, bem como apresentar os principais conceitos de anatomia relacionados ao funcionamento cerebral. Nele estão contidos um histórico do estudo das neurociências, os termos trabalhados pelas neurociências que necessitam ser conceituados para que se possa compreender a temática de forma mais abrangente e as possíveis aproximações com o campo da educação.

Há, no entanto, uma barreira linguística entre a área das neurociências e da educação, muito embora os termos biológicos e anatômicos estejam bastante presentes nas pesquisas sobre aprendizagem. Esta pesquisa se direciona para o campo da educação e pretende colaborar com estes estudos ao ser uma fonte de conhecimento para professores. Visto que este estudo procura os pontos convergentes entre duas áreas tão distintas e é voltado para a leitura de profissionais da educação, é necessário realizar um trabalho de esclarecimento, uma vez que os termos biológicos não são empregados no cotidiano destes profissionais frequentemente.

Portanto, é com o intuito de propiciar um entendimento a respeito do surgimento das neurociências e promover uma linguagem acessível ao entendimento do público que este capítulo se estende. Para que seja possível desenvolver um raciocínio que leve a uma compreensão e a resposta para a questão desta pesquisa, é necessária uma maior familiaridade com os conhecimentos e conceitos que envolvem estas discussões e é neste sentido que o primeiro capítulo conduz o leitor.

Para o resgate de informações que estão aqui contidas, realizamos uma busca na biblioteca da universidade por livros que se aproximassem das neurociências. Os livros foram encontrados na sessão de medicina da biblioteca e este foi nosso primeiro contato com autores estudiosos da temática.

Nesta primeira busca nos deparamos com o neurocientista austríaco Eric Kandel (1929) e o neurocientista brasileiro Roberto Lent (1948). Eric Kandel é autor de muitos livros que abordam as neurociências, entretanto, não aborda as ligações com a área da educação. Roberto Lent, no entanto, é também professor e tem publicações que se voltam para o público docente, principalmente da educação básica.

Em uma segunda busca na biblioteca, também na sessão de medicina, encontramos os livros “Fundamentos da neurociência e do comportamento” dos autores Eric Kandel, James Schwartz (1932-2006) e Thomas Jessel (1951-2019) e “Neurociência do comportamento” dos autores Bryan Kolb (1947) e Ian Q. Wishaw (1939). Estas obras foram importantes para compreensão do histórico dos estudos das neurociências e de conceitos que são abordados em outras publicações, como artigos que têm sido publicados recentemente.

O único livro que se aproxima do objetivo de estudo desta pesquisa que foi encontrado na sessão de educação da biblioteca da universidade se intitula “Aprendizagem infantil: uma abordagem da neurociência, economia e psicologia cognitiva”, o qual tivemos acesso em uma busca pelo sistema Pergamum, o sistema de bibliotecas online utilizado pela UNIOESTE.

Em posteriores buscas que foram realizadas na internet ou nas referências de artigos publicados recentemente que se repetiam por conta de sua relevância na área, entramos em contato também com outros autores e obras que auxiliaram na construção das compreensões que veremos no texto a seguir. Assim, por meio destas leituras em um primeiro contato com o tema e em achados posteriores conseguimos constituir uma fundamentação teórica sólida para que fosse possível atingir os objetivos propostos para este capítulo.

2.1 ANATOMIA DO SISTEMA NERVOSO: UMA REVISÃO INTRODUTÓRIA

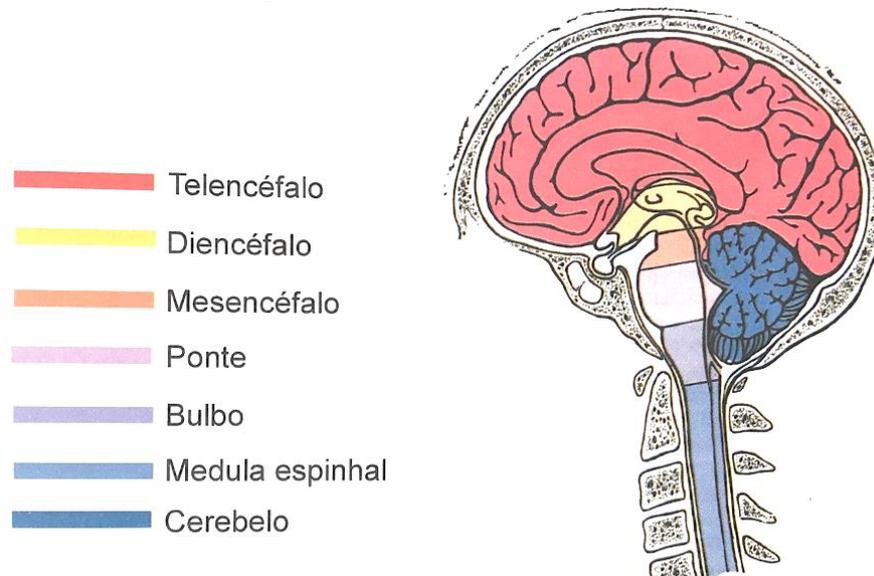
Para começar a compreender as neurociências, um bom ponto de partida é realizar uma aproximação com as estruturas anatômicas relacionadas ao sistema nervoso. Aqui serão apresentados apenas estruturas que sejam necessárias ao entendimento da temática e que demonstrem alguma relevância para o entendimento das estruturas citadas durante a leitura deste trabalho, visto que a pesquisa é direcionada para a área da educação.

2.1.1 Sistema nervoso central

Entende-se que o sistema nervoso central (SNC) é organizado de forma bilateral e simétrica. Além disso, é dividido, convencionalmente, em sete partes: a medula espinal, o tronco encefálico, o bulbo, a ponte, o cerebelo, o diencéfalo e o

cérebro (composto por telencéfalo e diencéfalo), conforme visualizamos na Imagem 1 (BRANDÃO, 2004; KANDEL *et al.*, 2014).

Imagem 1 – Sistema nervoso central



Fonte: BRANDÃO, 2004.

A medula espinhal, por sua vez, divide-se nas regiões cervical, torácica, lombar e sacral e é responsável pelo recebimento e processamento de informações sensoriais. Ou seja, em outras palavras, a medula espinhal é responsável, em grande medida, pela percepção nos seres humanos (KANDEL *et al.*, 2014).

O tronco encefálico localiza-se acima da medula e é constituído por três partes: bulbo, ponte e mesencéfalo (ROTTA; OHLWEILER; RIESGO, 2016). Essa estrutura tem conjuntos de corpos celulares que possuem diversas funções, entre elas, audição, equilíbrio, paladar e trabalho motor dos músculos da face, pescoço e olhos. De forma resumida, o bulbo controla o funcionamento autônomo, como a digestão, respiração e função cardíaca. A ponte é responsável pela retransmissão de informações relacionadas aos movimentos dos hemisférios cerebrais para o cerebelo. Já o mesencéfalo atua nas funções sensoriais e motoras, coordenando os movimentos dos olhos e reflexos da visão e audição (*Ibid.*).

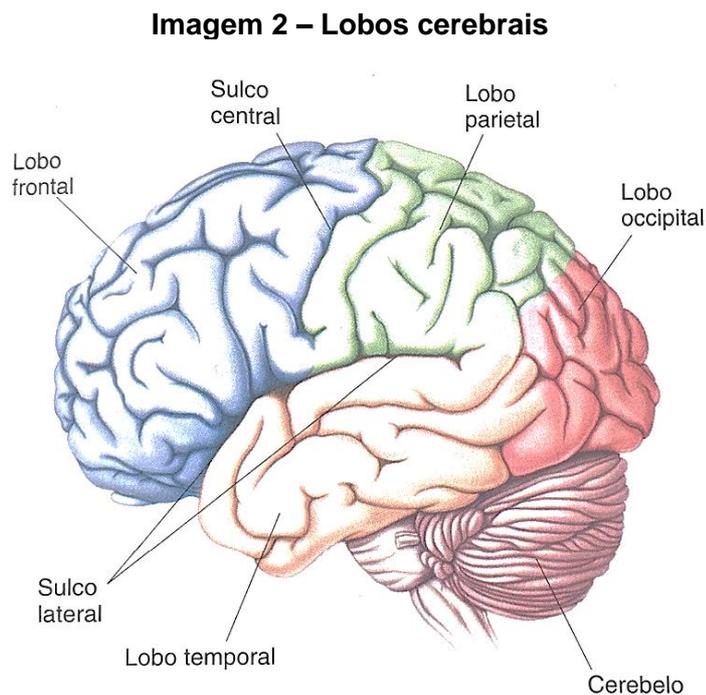
O cerebelo, por sua vez, anatomicamente encontra-se atrás da ponte e abaixo do encéfalo. Essa estrutura ocupa pouco menos de um quarto do volume craniano nos seres humanos e é bastante importante, sendo descrito como um pequeno cérebro ou, por vezes, como a “árvore da vida”, uma vez que o cerebelo possui dois hemisférios que dispõem de dobras, denominadas folhas (*Ibid.*). Sua função está

vinculada com as habilidades motoras e manutenção da atenção (ROTTA; OHLWEILER; RIESGO, 2016; KANDEL *et al.*, 2014).

O diencefalo localiza-se acima do tronco encefálico (ROTTA, OHLWEILER, RIESGO, 2016) e divide-se em duas estruturas: tálamo, que processa as informações recebidas pelo córtex cerebral e o hipotálamo, que atua com as funções autônomas, endócrinas e viscerais (KANDEL *et al.*, 2014).

Segundo Kolb e Whishaw (2002), denominamos de cérebro o tecido nervoso que encontramos no interior do crânio. O cérebro é composto por dois hemisférios, o direito e o esquerdo, que se encontram separados, mas são ligados por instrumentos de conexão, sendo o mais importante deles, o corpo caloso (ROTTA; OHLWEILER; RIESGO, 2016). É fundamental considerar que, apesar da simetria que caracteriza o sistema nervoso, os hemisférios cerebrais não são completamente idênticos em sua estrutura, nem correspondente em funções (KANDEL *et al.*, 2014).

Além dos hemisférios, o cérebro é dividido em lobos: frontal, parietal, occipital e temporal (Imagem 2). O lobo frontal interfere nas funções que compreendem a memória de curto prazo, planejamento e controle da movimentação. O lobo parietal se envolve com a sensação somática, formação de imagem corporal que se relaciona também com a visão. O lobo temporal se relaciona com a audição, com a memória, emoção e aprendizado (*Ibid.*).

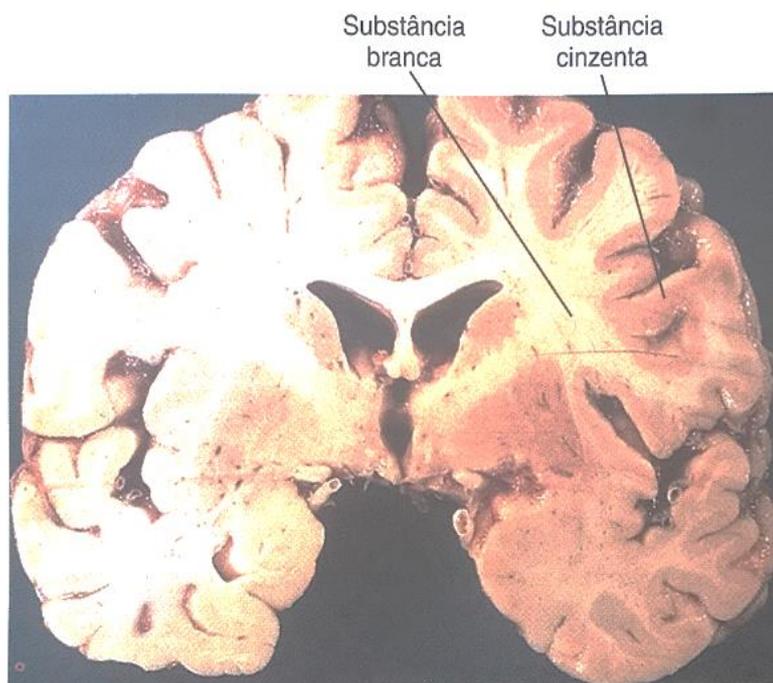


Fonte: BEAR; CONNORS; PARADISO, 2002.

Anatomicamente, por conta da evolução da espécie humana, que necessitava abrigar cada vez mais células nervosas em um espaço restrito como a caixa craniana, o cérebro possui dobramentos que, por sua vez, são denominados de giros e, ainda, existem estruturas nomeadas de sulcos, que são as fendas características dos dobramentos. Os giros e sulcos também têm importância no funcionamento cerebral, cada um sendo responsável por determinadas atividades. O giro pré-central, por exemplo, está relacionado com a função motora, enquanto que o giro pós-central se relaciona com a função sensorial (*Ibid.*).

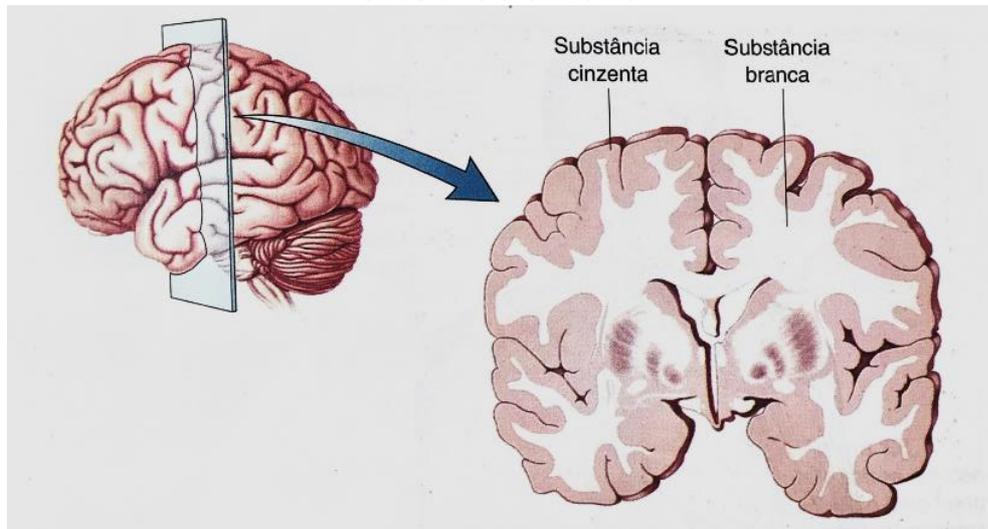
Outra característica que podemos nos deparar no processo de aquisição de conhecimentos sobre as estruturas neuroanatômicas é a caracterização do tecido nervoso em substância branca e substância cinzenta (Imagem 3 e Imagem 4). Ao observarmos o cérebro em corte de sua porção frontal, podemos notar regiões claras e escuras. As regiões claras são nomeadas de substância branca, pois pertencem a um tecido que tem fibras revestidas com gordura e, portanto, esbranquiçadas. As regiões mais escuras denominam-se substância cinzenta, onde observa-se a presença de muitos capilares sanguíneos, o que dá a característica mais escurecida (KOLB; WHISHAW, 2002).

Imagem 3 – Imagem real da secção de um cérebro humano demonstrando a divisão entre substância branca e substância cinzenta



Fonte: LUNDY-EKMAN, 2004.

Imagem 4 – Representação imagética do cérebro humano: substância branca e substância cinzenta



Fonte: BEAR; CONNORS; PARADISO, 2002.

A parcela mais externa do cérebro chama-se córtex cerebral. Composto pela substância cinzenta, o córtex conta com bilhões de neurônios, dispostos em circuitos, as redes neurais, que são responsáveis pelas funções nervosas superiores, como a memória, o raciocínio e a linguagem (COSENZA; GUERRA, 2011). O córtex cerebral torna-se importante parte para a atividade da vida humana, pois esta estrutura é caracterizada por apoiar funções importantes do pensamento e aprendizado. Segundo Kandel *et al.* (2014), “as operações responsáveis pela capacidade cognitiva humana ocorrem principalmente no córtex cerebral, a matéria cinzenta que recobre os dois hemisférios cerebrais” (p. 8).

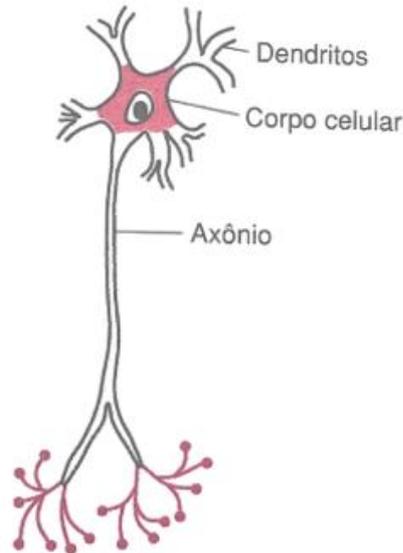
Portanto, como podemos observar, o encéfalo, composto por seis estruturas (bulbo, ponte, cerebelo, mesencéfalo, diencéfalo e cérebro), é um órgão que pesa pouco mais de um quilo e pode ser definido como “uma rede de mais de 100 bilhões de células nervosas individuais interconectadas em sistemas que constroem a percepção do mundo externo, fixam a atenção e controlam a maquinaria das ações humanas” (BRANDÃO, 2004; KANDEL *et al.*, 2014, p. 3).

2.1.2 Os neurônios

A nível celular, o sistema nervoso possui unidades morfofuncionais: os neurônios. Um neurônio típico (Imagem 5) apresenta quatro regiões morfológicas: o corpo celular, dendritos, axônio e os terminais pré-sinápticos (KANDEL *et al.*, 2014).

É esta célula que produz e propaga os sinais elétricos que faz com que sejamos capazes de perceber o mundo, de realizar movimentos, de pensar e de sentir (LENT, 2010).

Imagem 5 – Neurônio



Fonte: BHATNAGAR, 2004.

Os neurônios trabalham em grandes grupamentos que denominamos de redes ou circuitos neurais, as redes são capazes de trabalhar em cooperação para que no final seja possível realizar tarefas simples do dia a dia, como andar, ler ou apreciar uma pintura. Portanto, é importante ressaltar que os neurônios são células unitárias, mas que não trabalham isoladas uma das outras, mas sim em um ordenado conjunto (LENT, 2010).

O que torna os neurônios células tão diferentes das demais do nosso corpo, é a sua morfologia adaptada para receber e processar informações. Por conta da variedade dos tipos de informações, os neurônios têm diversos tipos morfológicos, com funções distintas: visuais, auditivos, motores, os que atuam com as emoções, com a memória, pensamentos ou mesmo comandam funções que não temos controle, como as batidas do coração e digestão (*Ibid.*).

Nos seres humanos, os neurônios podem ser classificados em três categorias: os neurônios aferentes, eferentes e de associação. Os neurônios aferentes são aqueles que captam as informações de sensores periféricos no corpo e os transmitem ao sistema nervoso, também denominados de sensoriais. Os neurônios eferentes

também são nomeados de neurônios motores, pois sua função é enviar informações do encéfalo ou medula para os músculos e glândulas. Já os neurônios de associação ou interneurônios são a numerosa maioria, correspondentes àqueles que participam internamente do sistema nervoso central (KANDEL *et al.*, 2014; ROTTA; OHLWEILER; RIESGO; 2016).

Os neurônios, como o conhecemos anatomicamente, possuem uma região que é essencial para a transmissão das informações no sistema nervoso que denominamos de sinapse, entre a fibra terminal de um neurônio e o dendrito de outro (LENT, 2010). A transmissão sináptica é essencial para que as funções neurais ocorram normalmente e, embora essa transmissão possa ser especializada, os neurônios atuam de acordo com as duas formas básicas desta transmissão: a elétrica ou a química (KANDEL *et al.*, 2014).

As sinapses elétricas ocorrem quando se faz necessário enviar sinais rápidos e estereotipados (*Ibid.*). Neste caso, a condução das informações se realiza por meio de impulsos nervosos, eventos considerados bioelétricos, que ocorrem muito rapidamente. A célula nervosa é capaz de produzir centenas de impulsos nervosos a todo segundo e seu compartilhamento atua como uma espécie de código para comunicação (LENT, 2010). Diferentemente, as sinapses químicas fazem uma sinalização variável, portanto, normalmente estão envolvidas em processos que induzem os comportamentos humanos mais complexos. Assim, as sinapses químicas correspondem a maior parte das transmissões sinápticas que ocorrem no encéfalo (KANDEL *et al.*, 2014).

2.1.3 Células gliais

De início, se pensava que estas células apenas eram responsáveis pela junção e sustentação entre os neurônios, por isso, o termo que as nomeia se origina da palavra “*glue*”, em inglês, que significa cola (ROTTA; OHLWEILER; RIESGO, 2016). Os gliócitos apresentam diversos tipos morfológicos e são menores que os neurônios, possuem um grande corpo celular, proporcionalmente, e tem ramificações nas extremidades. Seus prolongamentos podem constituir uma ponte entre o gliócito e capilares sanguíneos, outros gliócitos, sinapses e neurônios (LENT, 2010).

Os diferentes tipos de células gliais também efetuam diferentes funções, entre elas estão a neurotransmissão, a mielinização do sistema nervoso, proteção, reabsorção

de fragmentos de neurônios que foram degenerados e participação na renovação de fibras nervosas em casos de eventuais lesões (LENT, 2010; ROTTA; OHLWEILER; RIESGO, 2016).

2.2 O HISTÓRICO DAS NEUROCIÊNCIAS

O cérebro humano foi, por milhares de anos, um órgão incompreendido e misterioso. Mesmo no início do século XX ainda eram poucas as informações sobre a neurobiologia que englobam a memória e o aprendizado (LENT, 2010). Apesar de nos parecer uma obviedade, o cérebro nem sempre foi visto como uma ferramenta para o aprendizado (COSENZA; GUERRA, 2011).

Para dar início a esta exploração histórica sobre o cérebro e suas funções, começaremos com a história das civilizações antigas, pois ela nos ajudará a compreender como ocorreram as primeiras tentativas de explicação para as funções cerebrais, para o comportamento (KOLB; WHISHAW, 2002) e para a alma, uma vez que ela representava "a essência do ser e a fonte de toda a vida mental" (CASTRO; LANDEIRA-FERNANDEZ, 2010, p. 142).

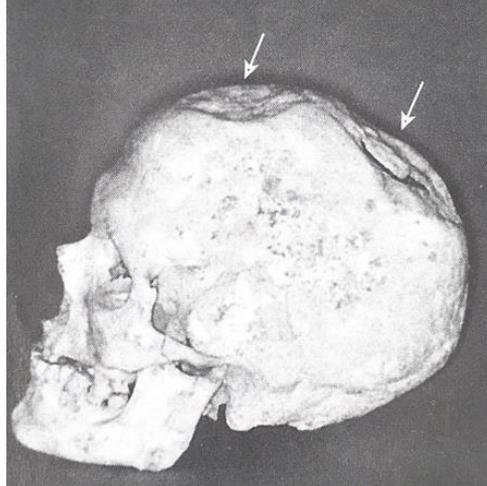
Há uma certa dificuldade em determinar quais eram os conhecimentos sobre o cérebro destas civilizações, já que não haviam registros escritos ou haviam, mas eram escassos e de difícil tradução. De maneira extraordinária, mesmo assim, encontramos uma forma de driblar as dificuldades e constituir respostas concretas para este questionamento: aqui, os achados arqueológicos obtiveram seu protagonismo. O primeiro indício de que já na pré-história se tinha, ao menos, uma breve noção de que a região da cabeça era importante para a manutenção da vida, foram as ossadas encontradas com fraturas no crânio que indicavam ser resultantes de conflitos entre os homens (*Ibid.*).

Além disso, outros achados arqueológicos indicavam aberturas na estrutura óssea do crânio de alguns indivíduos. Essas aberturas eram consideradas como lesões acidentais ou provocadas por armas, mas em 1865 o arqueólogo Ephraim George Squier constatou que o orifício encontrado em um crânio, em Cuzco, no Peru, havia sido realizado intencionalmente, por outro humano (*Ibid.*).

O procedimento atualmente denomina-se trepanação (Imagem 6 e Imagem 7) e corresponde a uma das intervenções cirúrgicas mais antigas de que se tem conhecimento, de cerca de 12 mil anos atrás. A técnica consistia na perfuração

craniana com a pessoa ainda em vida por motivos místicos e religiosos ou como uma forma de tratamento médico (*Ibid.*).

Imagem 6 – Fotografia de crânio com mais de 7.000 mil anos com evidências do procedimento cirúrgico de trepanação em dois locais, indicados pelas setas



Fonte: BEAR; CONNORS; PARADISO, 2002.

Imagem 7 – Representação da trepanação na pintura “A extração da pedra da loucura”, do holandês Hieronymus Bosch



Fonte: BOSCH, 1475-1480.

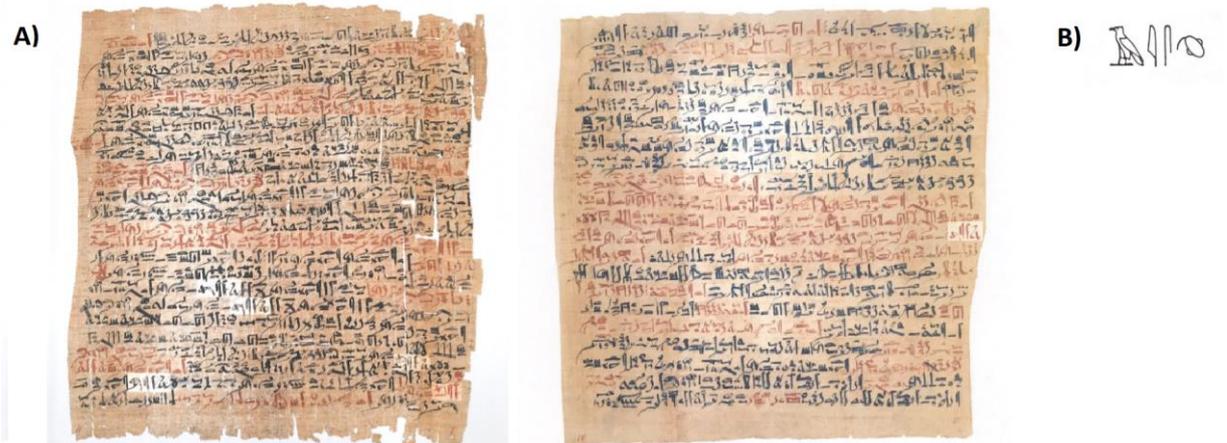
Nota: A pintura “A extração da pedra da loucura” retrata a cirurgia de trepanação que, neste caso, está sendo realizada com o objetivo de retirar a “pedra da loucura”, ou seja, uma suposta estrutura que continha, biologicamente, a insígnia da loucura (FERRAZZA; CRUZ, 2018). Esta obra é compreendida como uma das primeiras do artista Bosch, exposta atualmente no Museu do Prado, em Madri. Representada na imagem podemos observar uma cirurgia realizada ao ar livre por um suposto cirurgião que utiliza um funil na cabeça, como um chapéu e não como sua função real de objeto, fazendo com que o sujeito pareça um impostor. A obra se utiliza da ironia, segundo a interpretação dos estudiosos, pois critica a utilização do conhecimento

científico falso para lograr os que detêm menos conhecimentos. A pessoa religiosa, com o livro fechado na cabeça parece saber que o camponês operado está sendo enganado e, apesar disso, em concordância com o padre, parece abençoar o procedimento, validando o enredo farsante (SILVA, 2015).

A primeira menção que se conhece da palavra encéfalo data do século XVII a.C. (KANDEL *et al.*, 2014). Trata-se de um papiro egípcio médico de 1700 a.C., uma cópia de outro ainda mais antigo, de meados de 3000-2500 a.C. Conhecido como "Papiro cirúrgico de Edwin Smith" (**Imagem 8A**), este documento foi encontrado em 1862, mas conservou-se inédito até o ano de 1930, apenas sendo revelado após um extenso trabalho de tradução (KANDEL *et al.*, 2014; CASTRO; LANDEIRA-FERNANDEZ, 2010).

O papiro é constituído pelo relato de 48 casos clínicos da medicina, sendo que 27 deles mencionam traumatismos relacionados à cabeça. O documento cita o nome encéfalo (**Imagem 8B**) 7 vezes no total. Os relatos indicavam uma compreensão de que sintomas em diferentes áreas do corpo poderiam se relacionar com lesões no sistema nervoso central, entretanto, não se atribuía grande importância ao cérebro, uma vez que os egípcios acreditavam que a alma estava localizada no coração (KANDEL *et al.*, 2014; CASTRO; LANDEIRA-FERNANDEZ, 2010).

Imagem 8 – A) Papiro cirúrgico de Edwin Smith. B) Palavra encéfalo



Fonte: KANDEL *et al.*, 2014.

No período das civilizações antigas a maioria das questões sobre mente, alma e encéfalo pareciam estar relacionadas com conceitos religiosos e culturais (*Ibid.*). Apesar disso, mesmo séculos mais tarde, a história das neurociências indica que esses conceitos ainda tinham grande influência, como veremos a seguir.

Registros mais frequentes se iniciam no período Grécia Antiga. Na Grécia, o médico Galeno, no século II, acreditava que o encéfalo e a medula espinal eram responsáveis por secretar um líquido que era transportado pelos nervos para todos os tecidos do corpo. Essa proposição reinou até o surgimento do microscópio, quando as estruturas das células nervosas puderam ser observadas com clareza (KANDEL *et al.*, 2014).

Há mais de dois mil anos, Aristóteles (367 a.C.-347 a.C) passou a sugerir a hipótese de que a de psique, nome proposto pelo próprio filósofo, relacionado à mitologia clássica³, era responsável pelos comportamentos dos seres humanos⁴. Ele acreditava que a psique, termo que posteriormente fora traduzido para o inglês como “mente”, tinha como função produzir pensamentos, percepções e memórias. Apesar disso, não havia relação da psique com o corpo físico, a mente era tida como não-material, portanto, não se conferia ao cérebro qualquer função sobre a racionalidade do homem (KOLB; WHISHAW, 2002).

O pensamento de Aristóteles foi contestado apenas no século XVII, quando René Descartes (1596-1650) assumiu que a mente (ainda tida como não material) e o corpo físico eram separados, mas que funcionavam de maneira interligada (*Ibid.*). Aqui, o encéfalo tinha uma função estabelecida: a de conduzir as ações mais primitivas que são encontradas também nos animais inferiores, como a atividade motora, a digestão, a memória e a percepção. As funções superiores, como a consciência, eram atribuídas à alma (KANDEL *et al.*, 2014).

Assim, Descartes acreditava que intermediar a comunicação entre o corpo e a mente imaterial era trabalho da denominada glândula pineal (*Ibid.*). Em seu livro, o filósofo ilustrou como esse intermédio ocorre: de acordo com a **Imagem 9**, a mente ordena ao cérebro, que controla os movimentos, que a pessoa toque a bola. Assim que a mão sente a bola, o cérebro repassa para a mente todas as informações que são pertinentes a respeito do objeto, como a localização, textura, peso e tamanho (KOLB; WHISHAW, 2002).

³ Na mitologia grega clássica, Psique era uma jovem mortal que se casou com o deus Cupido. Vênus, mãe de Cupido, era contra o casamento pois não queria que o filho se casasse com uma humana, portanto, iniciou uma perseguição à Psique, atribuindo-lhe inúmeras tarefas. As tarefas eram tantas que eram quase impossíveis de serem realizadas, mas Psique se dedicou com muita inteligência e compaixão, tornando-se imortal no processo. Depois da transformação, Vênus não se opunha mais ao casamento (KOLB; WHISHAW, 2002).

⁴ Esse posicionamento é hoje denominado de mentalismo, um entendimento que não é considerado científico (WHISHAW; KOLB, 2002).

Imagem 9 – Ilustração de Descartes demonstrando o trabalho da mente e cérebro

Fonte: KOLB; WHISHAW, 2002.

Esta explicação pensada por Descartes se constitui como, provavelmente, “a ideia mais influente já sugerida na filosofia ou neurociência” (*Ibid.*, p. 9), pois é nesta compreensão que reside a primeira tentativa de explicar qual a função o cérebro exerce no corpo do ser humano.

Apesar desta suposição, a teoria de René Descartes traz falhas de lógica, já que não é possível, considerando as leis da física, uma mente imaterial ser capaz de controlar um corpo material. Assim, essa questão ficou conhecida como “problema mente-corpo” e, a filosofia resultante da teoria de que o comportamento é guiado por uma mente imaterial e um corpo físico se denominou dualismo (*Ibid.*).

A dualidade das ideias de Descartes colaborava para os pensamentos de que somos, como seres humanos, divididos entre mente racional de um lado e instintos corporais animais de outro. O médico John Harlow (1819-1907) utiliza este argumento para versar sobre o caso do paciente Phineas Gage. Em 1848, Gage sobreviveu a um

acidente de trabalho no qual foi atingido por uma barra de ferro que atravessou a porção frontal de seu crânio (*Ibid.*).

As pessoas próximas à Gage constataram uma súbita mudança de conduta após sua recuperação, apresentando comportamentos que não refletiam sua capacidade intelectual anterior, além de se encontrar normalmente indeciso, inconstante e impaciente, entregue às paixões animais (*Ibid.*). Essa visão é, até hoje, comumente encontrada na esfera do senso comum entre as pessoas, entretanto, por outro lado, as neurociências atuais concebem uma visão unificada que indica que a mente, ou seja, nossa racionalidade, advém de um conjunto de processamentos cerebrais, como afirma Kandel *et al.* (2014):

Tal abordagem unificada - na qual mente e corpo não são vistos como entidades separadas, apoia-se na visão de que todo o comportamento é resultado da função encefálica. Aquilo que costuma ser chamado de "mente" é um conjunto de operações executadas pelo encéfalo. Processos encefálicos formam a base não apenas dos comportamentos motores, como caminhar e comer, mas também de atos e comportamentos cognitivos complexos, que são entendidos como a quintessência do comportamento humano - o pensamento, a linguagem e a criação de obras de arte (p. 5).

2.2.1 Unificação mente e corpo

Essa visão perdurou por muito tempo, embora houvessem várias tentativas de estabelecer explicações para a mente humana. No século XVII, Baruch Spinoza (1632-1677) foi o primeiro estudioso a unificar mente e corpo, já que anteriormente apenas considerava-se que a mente era imaterial e não fazia parte das estruturas biológicas do corpo humano (KANDEL *et al.*, 2014).

Ainda neste período, a visão sobre a mente dividia-se entre empiristas e idealistas, o primeiro grupo com a afirmação de que o encéfalo era uma tábua rasa que precisava ser preenchida durante a vida com os conhecimentos, enquanto que o segundo grupo, representado especialmente por Immanuel Kant (1724-1804), alegavam que a percepção humana era fruto da mente ou do encéfalo (*Ibid.*).

No século XVIII, Luigi Galvani foi o responsável pela descoberta de que os músculos e células nervosas geravam eletricidade, o que se constitui como um marco para a evolução dos estudos do encéfalo (*Ibid.*). É importante ressaltar que as visões mais simplistas a respeito do sistema nervoso perduraram por muitos anos antes de

serem contestadas por uma nova teoria. Segundo Kolb e Wishaw (2002), somente na metade do século XIX um novo pensamento chega como um reflexo do materialismo, baseado nos estudos de Charles Darwin (1809-1882). Essa teoria trouxe a ideia de que o comportamento racional não era trabalho de uma mente imaterial, mas que se justificava por meio do desempenho do sistema nervoso.

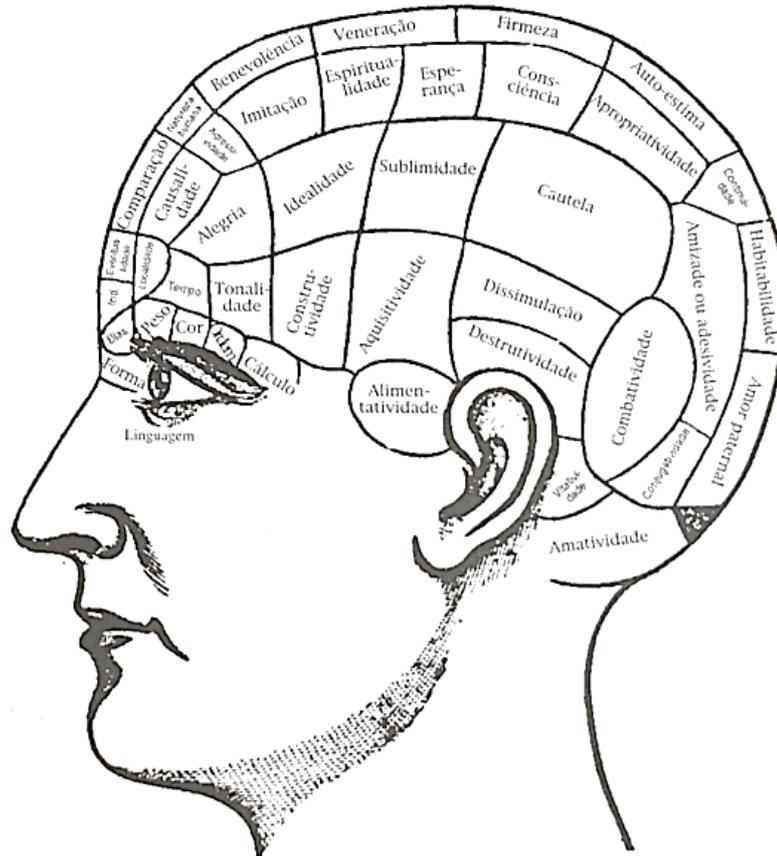
2.2.2 Mapeamento cerebral

Em meados dos anos 1800, tem-se registros da primeira tentativa de mapeamento de funções cerebrais, quando o médico Franz Joseph Gall (1758-1828) propôs suas teorias. Gall defendia que o encéfalo poderia ser descrito como o órgão que dá origem a mente, negando a ideia mentalista de que a mente não é material. Além disso, o médico também argumentou que vários órgãos estavam contidos dentro do córtex cerebral e que estas regiões tinham, cada uma, funções específicas (KANDEL *et al.*, 2014).

Assim, Gall descreveu, inicialmente, 27 regiões diferentes integrados ao córtex cerebral e as associou com determinadas habilidades (**Imagem 10**). À época, era comum que médicos e cientistas fimassem seus estudos relacionados ao corpo humano com base em lesões que eram observadas no *post-mortem*. No caso de Gall, sua experimentação para a localização se constituía na mera observação e medição das características físicas da cabeça (LENT, 2010). Ele acreditava que quanto mais desenvolvida determinada região fosse e, por consequência, a habilidade correspondente, maior ela seria. Essa região crescia conforme a faculdade mental se desenvolvia, o que causaria uma protrusão⁵ naquele ponto, sendo, portanto, observável protuberâncias no crânio do indivíduo (KANDEL *et al.*, 1997, KANDEL *et al.*, 2014).

⁵ Condição que pode deslocar um órgão, geralmente para frente; crescimento anormal, por motivos naturais ou patológicos.

Imagem 10 – A divisão das regiões do encéfalo de acordo com a frenologia de Gall



Fonte: KANDEL *et al.*, 1997.

O estudo do mapeamento das regiões cerebrais e das habilidades que correspondiam a elas ficou conhecido como frenologia. Gall se utilizou de uma metodologia ingênua, que não incluía evidências científicas, mas suposições sobre o encéfalo por meio da mera observação e medição do crânio (KANDEL *et al.*, 2014). Neste período, muitas das evoluções no entendimento do sistema nervoso se devem ao estudo de lesões cerebrais, pois não haviam recursos tecnológicos disponíveis como os exames de imagem atuais. Os principais progressos eram realizados quando se correlacionava os sintomas que vários indivíduos possuíam com suas lesões detectadas no *post-mortem* ou testes experimentais que eram realizados em animais (KOLB; WHISHAW, 2002).

Desta forma, entendemos hoje que a frenologia não se concretizou como uma verdade científica, entretanto, a tentativa de mapeamento das regiões cerebrais e a ideia de que as regiões do cérebro têm funções distintas e especializadas se constitui uma base para as neurociências da atualidade (KANDEL *et al.*, 1997, KANDEL *et al.*, 2014, LENT, 2010).

2.2.3 Visão holística do encéfalo

A teoria frenológica só foi submetida à testes vinte anos mais tarde pelo fisiologista Jean Pierre Flourens (1794-1867) que fez a retirada estratégica dessas regiões mapeadas por Gall em animais. Como conclusão de suas experiências, Flourens percebeu que as regiões cerebrais não eram responsáveis por comportamentos específicos, como sugeria a frenologia e, assim, concluiu que todo o cérebro poderia desempenhar todas as funções, inferindo que, quando uma lesão cerebral ocorre, todas as funções seriam afetadas (KANDEL *et al.*, 1997, KANDEL *et al.*, 2014).

Essa teoria ficou conhecida posteriormente como visão holística do encéfalo e teve rápida aceitação, não apenas pelos experimentos de Flourens, mas por dar representatividade a uma teoria que negava que a mente se constituía apenas de um órgão biológico, se opondo às ideias que rejeitavam a existência de uma alma e que reforçavam que a mente poderia se beneficiar de exercícios, o que colaborava para as crenças religiosas e aristocráticas da época (KANDEL *et al.*, 1997, KANDEL *et al.*, 2014).

Apesar da ampla aceitação da visão holística, no século XIX houve vários avanços nos estudos que contrariavam essa teoria. As primeiras evoluções concretas para a localização de funções encefálicas surgiram de estudos que envolviam a linguagem. Estas teorias se desenvolveram por meio do estudo de afasias, uma condição que ocorre quando determinadas áreas do encéfalo são atingidas por uma lesão, afetando a linguagem (KANDEL *et al.*, 2014).

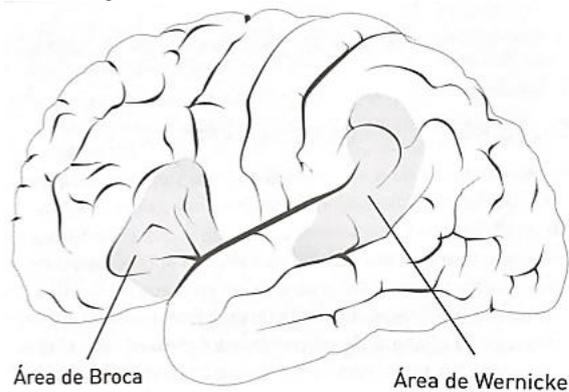
2.2.4 As descobertas de Paul Broca e Karl Wernicke

O francês Pierre Paul Broca (1824-1880) foi pioneiro em identificar áreas cerebrais específicas que tinham relação com a linguagem. No ano de 1861, Broca estudou um paciente que recentemente havia sofrido um acidente vascular encefálico e havia perdido a habilidade de produzir sentenças completas. O homem apenas conseguia compreender o que outras pessoas diziam, reproduzir palavras isoladas ou cantarolar uma melodia, mas era incapaz de se comunicar apropriadamente por meio de frases faladas ou escritas. Nos exames, o paciente demonstrou-se perfeitamente

capaz, anatomicamente, de falar, já que não haviam sinais em sua língua, boca ou cordas vocais que indicassem alguma anormalidade. Posteriormente, os exames *post-mortem* constataram uma lesão na região posterior do lobo frontal, no hemisfério esquerdo (KANDEL *et al.*, 1997, KANDEL *et al.*, 2014, LENT, 2010).

Broca estudou outros oito pacientes com sintomas parecidos e encontrou lesões nas mesmas regiões. Após essa constatação, em 1869, Broca afirmou que a habilidade da fala está diretamente ligada com o hemisfério esquerdo do cérebro⁶. Atualmente, a região em questão é conhecida como área de Broca (**Imagem 11**) (COSENZA; GUERRA, 2011, KANDEL *et al.*, 2014).

Imagem 11 – Localização cerebral da área de Broca e área de Wernicke



Fonte: COSENZA; GUERRA, 2011.

Pouco tempo depois, em 1870, Gustav Fritsch (1838-1927) e Eduard Hitzig (1838-1907) desenvolveram uma experimentação que produzia estímulos elétricos nas regiões cerebrais do giro pré-central, gerando movimentos específicos nas patas de cães. Esta descoberta foi significativa pois observou-se que ao estimular a região em um determinado hemisfério cerebral, a pata que se movia era a do lado oposto à do estímulo elétrico produzido pelos cientistas (KANDEL *et al.*, 2014).

Foi por meio deste experimento que se descobriu que os movimentos são controlados pelo córtex motor contralateral, ou seja, quando escrevemos com a mão direita, o hemisfério esquerdo do cérebro é que controla este movimento. Se voltarmos aos parágrafos anteriores, podemos lembrar que a linguagem também é controlada

⁶ Com a descoberta, Pierre Paul Broca anunciou: “*Nous parlons avec l’hémisphère gauche!*” que, em tradução do francês significa “Nós falamos com o hemisfério esquerdo” (KANDEL *et al.*, 2014).

pelo hemisfério esquerdo, o que faz com que, na maioria das pessoas, o hemisfério esquerdo seja dominante (*Ibid.*).

Em seguida, no ano de 1876, Karl Wernicke⁷ (1848-1905) publicou um artigo sobre uma afasia diferente da que Broca estudou. No caso dos estudos de Wernicke, a afasia impedia que o indivíduo compreendesse a linguagem, mesmo que sua habilidade de fala não estivesse comprometida. Neste caso, a lesão se encontrava em outra região do encéfalo: a porção posterior do córtex, na junção do lobo temporal com o parietal e occipital (Imagem 11) (KANDEL *et al.*, 1997, KANDEL *et al.*, 2014).

Enquanto esses estudos aconteciam e novas descobertas eram realizadas, as teorias anteriores ainda se faziam presentes. Os frenologistas defendiam a ideia das habilidades específicas para cada área cerebral enquanto que a visão holística apoiava a teoria do campo agregado de que qualquer região do córtex poderia exercer todas as funções mentais. Em continuidade aos seus estudos, Wernicke, ao contrário das teorias anteriores, argumentava que somente as funções mentais básicas tinham locais específicos correspondentes no cérebro, enquanto que as funcionalidades mais complexas emanavam da atividade cerebral interconectada, ou seja, os comportamentos produzidos pelo indivíduo não eram exclusivos de uma única área, mas sim de um processamento em várias regiões cerebrais. Esta teoria desenvolvida por Wernicke ficou conhecida como processamento distribuído e é uma ideia central para os estudos atuais das neurociências (KANDEL *et al.*, 1997, KANDEL *et al.*, 2014).

2.2.5 As descobertas de Camillo Golgi e Santiago Ramón y Cajal

Enquanto acompanhamos a evolução dos estudos do sistema nervoso, é importante considerar que foi apenas no final do século XIX que, com o estabelecimento de novas descrições sobre as células nervosas de Camillo Golgi (1848-1926) e Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), se pode considerar que o sistema nervoso tenha, de fato, se tornado a temática de uma ciência (KANDEL *et al.*, 2014).

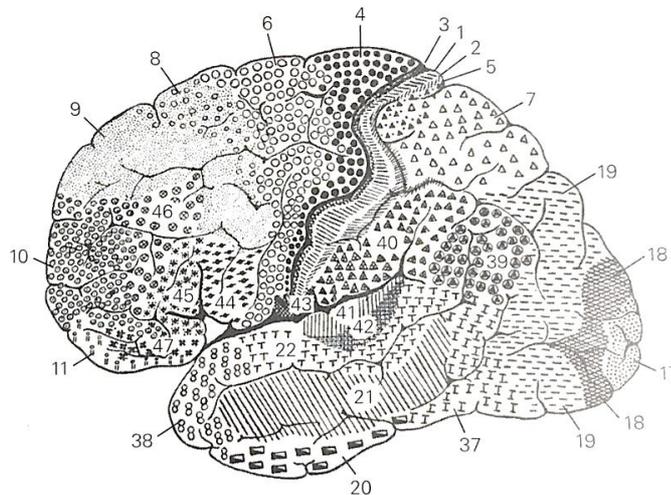
O italiano Golgi produziu uma forma de se corar os neurônios para observação no microscópio, assim conseguindo contemplar a estrutura de cada célula. Ramón y

⁷ Na época, com idade de 16 anos.

Cajal, utilizando a mesma técnica, chegou à conclusão de que o tecido que compõe o sistema nervoso não é contínuo e sim uma rede de células únicas (*Ibid.*).

Outras teorias surgiram, como é o caso do modelo citoarquitetônico desenvolvido pelo alemão Korbinian Brodmann (1868-1918) no início dos anos 1900. Esse modelo separava áreas cerebrais de acordo com o tipo de célula (**Imagem 12**), foi desta forma que Brodmann diferenciou 52 regiões distintas do córtex cerebral (*Ibid.*).

Imagem 12 – Modelo citoarquitetônico de Brodmann



Fonte: KANDEL *et al.*, 2014.

Dessa forma, a teoria foi se ampliando e em 1920, com a descoberta do embriologista Ross Harrison (1870-1959), a doutrina neuronal teve seu início. Harrison demonstrou que os dendritos e o axônio dos neurônios crescem do corpo celular e que há este crescimento mesmo quando o neurônio está separado de outros, em culturas de tecidos. Essa teoria ganhou ainda mais força em 1950, com a invenção da microscopia eletrônica que poderia pôr fim, definitivamente, a qualquer dúvida que restasse sobre a estrutura do tecido nervoso (*Ibid.*).

Segundo Rotta, Ohlweiler e Riesgo (2016), a doutrina neuronal foi substituída atualmente pela neuroglial, que atribui aos gliócitos importante função nos processos neurais. De acordo com novas pesquisas, o número de gliócitos é cerca de dez a quinze vezes maior que o número de neurônios, sendo estas células também ativas no processo de neurotransmissão e aprendizado.

No contexto da doutrina neuronal, vários estudos começaram a sugerir novas visões a respeito do cérebro e o tecido nervoso. Sanford Palay (1918-2002) foi um

estudioso importante para a época, pois por meio de seus experimentos, Palay demonstrou a existência das sinapses, que são regiões especiais que possibilitam as trocas químicas e elétricas que ocorrem entre os neurônios (KANDEL *et al.*, 2014).

Nesta linha do tempo, pouco antes da década de 40, Edgar Adrian (1889-1977) e Wade Marshall (1907-1972) demonstraram por meio de experimentação com gatos que o toque em diferentes regiões corporais refletia uma atividade elétrica não isolada, mas em regiões diferentes do córtex, uma importante demonstração de que as funções cerebrais não são únicas e exclusivamente isoladas em determinados pontos do encéfalo (*Ibid.*).

2.2.6 Teorias e evolução

Apesar das evidências contrárias, a teoria do campo agregado do cérebro predominou até meados dos anos 1950 porque contava com o apoio de cientistas importantes da época. Porém, atualmente, entende-se que:

[...] todas as capacidades cognitivas resultem da interação de muitos mecanismos de processamento distribuídos em diversas regiões do encéfalo. Regiões encefálicas específicas não são responsáveis por faculdades mentais específicas, mas são unidades elementares de processamento. A percepção, o movimento, a linguagem, o pensamento e a memória são todos possibilitados pela interligação de regiões encefálicas determinadas que realizam o processamento serial e paralelo, cada uma delas tendo funções específicas. Como resultado, a lesão em uma única área não necessariamente resulta na perda completa de uma função (ou faculdade) cognitiva, como muitos neurologistas acreditavam no início. Mesmo que um comportamento inicialmente desapareça, ele poderá retornar parcialmente, na medida em que porções não lesionadas do encéfalo reorganizam suas conexões (KANDEL *et al.*, 2014, p. 15)

Os conceitos a respeito do sistema nervoso sofreram diversas mudanças com o passar dos anos. No início da década de 1860 os pesquisadores iniciaram uma concepção, ainda que pobre, das estruturas e organizações cerebrais (KOLB; WHISHAW, 2002). Na segunda metade do século XX, a atenção dos pesquisadores se voltou para os genes. Já na primeira metade do século XXI, o foco transferiu-se para as neurociências e, em maior intensidade para a biologia da mente (KANDEL *et al.*, 2014).

A evolução não foi linear, algumas teorias perduraram por milhares de anos, ao passo que outras foram rapidamente substituídas. Kolb e Whishaw (2002) afirmam que enquanto que nas décadas de 70 e 80 os estudos sobre a mente e o cérebro eram inexplorados pelo público, atualmente é improvável que as pessoas não se deparem com estudos e novas descobertas com mais fácil acesso.

Nesse sentido, há um grande consenso de que os anos 90, com o desenvolvimento de exames de imagens e testes que possibilitaram observar as funções cerebrais enquanto a pessoa ainda está viva, revolucionaram a história das neurociências. Não obstante, a última década do século XX ficou conhecida como a “década do cérebro” (*Ibid.*).

Hoje, com maior entendimento sistema nervoso e a evolução das tecnologias e exames de neuroimagem, sabe-se que existem inúmeras características e atribuições para o cérebro. As evoluções nesses estudos permitiram uma maior elucidação da função do cérebro e do sistema nervoso, bem como algumas de suas contribuições para a aprendizagem (KANDEL *et al.*, 2014).

2.3 CONVERGÊNCIAS ENTRE NEUROCIÊNCIAS E EDUCAÇÃO: ALGUMAS POSSIBILIDADES

Como visto anteriormente, as evoluções nos estudos permitiram uma maior elucidação da função do cérebro e do sistema nervoso, bem como algumas de suas contribuições para a aprendizagem. Como se sabe, a educação trabalha com os diversos aspectos da aprendizagem e, desta forma, por meio dos estudos que aqui serão citados, pode-se perceber que existem fatores que apontam para a possível utilização das neurociências no âmbito escolar, a fim de contribuir para a prática pedagógica ao colaborar nos processos de ensino e aprendizagem.

O campo de pesquisa interdisciplinar da neurociência educacional objetiva traduzir as ideias e descobertas que se relacionam com o sistema nervoso para a prática pedagógica a fim de compreender os efeitos da educação no cérebro. Como Kolb e Wishaw (2002) destacam em seu livro “Neurociência do comportamento”, nós não nos damos conta, ao realizar tarefas do cotidiano, de que nosso cérebro está constantemente em funcionamento. De forma resumida, as neurociências estão preocupadas em compreender a lógica da mente, em como a atividade cerebral se

relaciona com os complexos processos mentais que realizamos sem nem perceber (KANDEL *et al.*, 2014)

Há cinco categorias para esta ciência: a neurociência molecular, celular, sistêmica, e, as que serão mais importantes aos objetivos desta pesquisa, a comportamental e cognitiva (LENT, 2010). A neurociência comportamental empenha-se em compreender as organizações neurais que produzem o comportamento e outras manifestações como o sono e as emoções, enquanto que a neurociência cognitiva se ocupa em estudar os processos mentais, típicos dos seres humanos, como a memória e a linguagem (*Ibid.*).

2.3.1 Das limitações das neurociências

Ainda não está completamente claro e objetivado de que forma as neurociências e a educação podem ser utilizadas em conjunto, sendo campos tão distintos do conhecimento. É fundamental que se trate com cautela o emprego das neurociências para o campo educacional, pois são áreas que podem ser interligadas unicamente se os pesquisadores tratarem de questões de comum interesse (VARMA *et al.*, 2008).

Neste sentido, é importante acrescentar que a pesquisa aqui realizada trata sobre a neurociência educacional no sentido da integração de conhecimentos interdisciplinares que vão ao encontro aos objetivos propostos pela escola, que visem melhorar os processos de ensino e aprendizagem, pertinentes à prática cotidiana escolar e não a favor da biologização da educação.

Por esse motivo, é necessário compreender também as limitações para não se atribua às neurociências uma função que não lhe é sua e, por fim, desapontar-se com o progresso das pesquisas e das aplicações para a prática. Entretanto, se esse conhecimento interdisciplinar for aplicado de maneira complementar, há motivação para um otimismo ao considerar o futuro dos estudos no campo da neurociência educacional (*Ibid.*).

É importante compreender quais são os pontos fortes e fracos das convergências da educação e das neurociências. Os métodos científicos utilizados nestas ciências são divergentes pois os empregados nos estudos neurocientíficos priorizam os dados e teorias e não alcançam tópicos que são importantes para a educação e psicologia, como o contexto.

Dessa forma “[...] é importante lembrar que este método, como todos métodos das neurociências, tem limitações e que estas limitações restringem os tipos de perguntas de pesquisa que podem ser respondidas” (*Ibid.*, p. 142, tradução nossa). A respeito disso, Kolb e Whishaw (2002) reconhecem que um “[...] aspecto do estudo do cérebro e do comportamento em homens modernos: o fato de que, ao contrário do comportamento de outras espécies de animais, uma grande parte do comportamento humano é culturalmente aprendida” (p. 28).

O contexto e aspectos culturais e sociais são, de fato, importantíssimos ao desenvolvimento. Como exemplo, podemos utilizar os muitos casos relatados de “crianças selvagens”. Conforme Newton (2014), criança selvagem⁸ é o termo utilizado para contar diversas histórias de privação social. É amplamente utilizado para crianças que foram criadas por animais, entretanto, também é empregado para crianças que cresceram sozinhas na selva ou trancadas, privadas da convivência social.

Esta denominação surgiu com o caso de Victor de Aveyron, encontrado nu, vivendo nas florestas do sul da França, em 1800. O menino andava de quatro, não falava, apenas emitia grunhidos. Mesmo após anos de tentativas de socializá-lo, Victor aprendeu apenas seletas palavras e continuou com muitos de seus hábitos selvagens. Faleceu com cerca de quarenta anos de idade, no ano de 1828 (BANKS-LEITE; GALVÃO, 2001).

Por meio dos conhecimentos neurocientíficos atuais, sabe-se que essa ocorrência está relacionada a um fenômeno chamado *imprinting*: um tipo de aprendizado que encontramos em seres humanos e animais, que uma vez aprendidos dentro de um determinado período de tempo, não podem ser revertidos. No caso de Victor de Aveyron, até mesmo sua disposição ao se alimentar não pôde ser completamente adaptada à posição horizontal, por conta de engasgos frequentes, visto que por todos os anos em que passara em privação social, sua conduta era se alimentar agachado, apoiado nos quatro membros (NEUROCAST, 2020, ep. 27).

Como podemos perceber, parecem ser vastas as conexões entre educação, a psicologia e as neurociências. Por este motivo, pesquisas desta temática necessitam de conexões de diferentes áreas do conhecimento, interagindo em debates interdisciplinares, que acolham “[...] os aspectos sociais, cognitivos, biológicos e

⁸ Do termo em inglês “*wild child*”.

comportamentais que são capazes de contribuir com a atualização e o avanço da prática educacional diretamente ou indiretamente” (Amran *et al.*, 2019, p. 345, tradução nossa)

Assim, podemos observar que independentemente da possibilidade de as neurociências contribuírem à educação, ainda existem muitos obstáculos a serem superados (THOMAS *et al.*, 2019). Lent (2019) destaca que existe uma grande complexidade envolta nos processos de aprendizagem, o que exige uma aproximação interdisciplinar. Mesmo que haja um pleno entendimento dos processos que envolvem a aprendizagem, a transferência para a prática pedagógica se constitui como uma das maiores dificuldades.

2.3.2 Dos desafios da educação e educadores

Apesar dos esforços recentes nos estudos sobre a neurobiologia do aprendizado e suas aplicações em sala de aula, há de se considerar que a psicologia traz alguns desses mesmos aspectos, portanto é natural que haja oposições a respeito da aplicação das neurociências à educação pois há de se pensar que estamos, portanto, sendo repetitivos. Um estudo de Thomas *et al.* (2019) procurou argumentar sobre os motivos pelos quais a psicologia não é considerada o suficiente.

Os laços entre psicologia e educação foram estabelecidos há muito tempo e tem uma aplicação ampla que se transfere para a área da educação. Bowers (2016a), um grande crítico da utilização das neurociências afirma que é improvável que esta disciplina promova novos métodos efetivos para a prática na área da educação. Além disso, o autor defende que a psicologia é a área mais valorosa para ser usada para o melhoramento educacional. A afirmação do autor parece pertinente porque enquanto a psicologia estuda o comportamento, a neurociência prevê os mecanismos cerebrais do comportamento (BOWERS, 2016b), mas esta é, ao mesmo tempo a chave para a crítica e a chave para a argumentação do debate que demonstra o oposto, como veremos a seguir:

Entende-se que a “teoria psicológica infere mecanismos causais ocultos para explicar e prever o comportamento observável” (p. 478, tradução nossa) e que, nesse sentido, estas inferências dos mecanismos causais podem gerar teorias equivocadas que podem não ser atestadas pelo funcionamento cerebral no sentido de se opor aos processos biológicos existentes (THOMAS *et al.*, 2019).

Além disso, há limitações do que as teorias psicológicas podem oferecer para explicar determinados fenômenos, como por quê é impossível esquecer os medos adquiridos durante o tempo de vida, mas torna-se inevitável o esquecimento de conteúdos escolares, fato que consolida a ideia de que a memória ocorre de maneira seletiva e específica, por exemplo. Assim, é necessário compreender que há particularidades da memória, do comportamento e aprendizado que somente têm fundamento quando se resgata as designações que se relacionam ao funcionamento do cérebro (*Ibid.*).

As neurociências possuem a capacidade de examinar e compreender, de forma direta, as funções cerebrais, sem inferir informações por meio apenas de observações no comportamento do indivíduo (VARMA *et al.*, 2008). Embora muitos dos conhecimentos acerca dos processos cognitivos não sejam, de maneira geral, indispensáveis para os educadores, tornam-se indispensáveis à medida que forem propostos por outras áreas incorretamente, fazendo com o que os professores depositem expectativas equivocadas no comportamento e desenvolvimento de seus alunos (THOMAS *et al.*, 2019).

De acordo com Lent (2019), há uma dificuldade em tratar dos conhecimentos de neurociências no campo da educação, pois são áreas distintas que necessitam ser interligadas para que façam sentido e possam ser incorporadas na prática. O autor sugere que “[...] entre a ciência e a educação temos que construir uma ponte sobre águas volumosas”, indicando que ainda há de se trabalhar as diferenças entre estas áreas para que ambas possam se comunicar de maneira efetiva.

Existem distinções fundamentais entre os campos das neurociências e da educação que abrangem diferenças históricas, filosóficas e epistemológicas (SAMUELS, 2009). Com frequência, observa-se que não há um vínculo formado entre docentes e os fundamentos das neurociências (COSENZA; GUERRA, 2011).

Em uma pesquisa realizada por Pickering e Howard Jones (2007) sobre a percepção dos professores e da educação em relação ao papel da neurociência educacional, os professores responderam questionários e entrevistas sobre a temática, incluindo discussões em conferências realizadas no Reino Unido. Os resultados da pesquisa apontam que um fator essencial é desenvolver uma comunicação efetiva entre as pesquisas baseadas em evidências neurocientíficas e os educadores.

Existem barreiras que impedem ou dificultam que a ponte, citada por Lent (2019), seja construída. A falta de conhecimento oferecido pela formação docente sobre as questões biológicas e a ausência do contato com as escolas e prática pedagógica dos pesquisadores são obstáculos frequentes. Além disso, a linguagem técnica pouco acessível da área da neurociência muito contribui para afastar os profissionais, já que se configura como uma complexidade que gera um receio maior no momento da aquisição desses conhecimentos (PICKERING, HOWARD-JONES, 2007).

A ideia de uma prática guiada por evidências tem como limitação não apenas desafiar os professores a buscarem por novos conhecimentos, mas também afetar as crenças pessoais sobre o significado da docência. Ademais, esse cenário pode gerar uma ameaça à confiança profissional quando se passa a aceitar que essas pesquisas também se aplicam à sua profissão e que a prática precedente não se constituía de maneira tão sólida (EVERTON; GALTON; PELL, 2000).

É importante levar em consideração que o desenvolvimento não é regido “[...] apenas por leis físicas ou biológicas, mas também por aspectos humanos que incluem, entre outras, a sala de aula, a dinâmica do processo ensino-aprendizagem, a família, a comunidade e as políticas públicas” (COSENZA; GUERRA, 2011, p. 143). Portanto, apesar do panorama otimista, parte da grande resistência parece derivar da falta de compreensão de que as neurociências podem ser incorporadas na prática de maneira complementar e não visando uma substituição em detrimento de outras áreas.

2.3.3 Das possibilidades e contribuições

De acordo com Amran *et al.* (2019), entende-se que a compreensão do cérebro e mente pode ser um ponto chave para auxiliar professores e educandos no processo de aprendizagem, especialmente em condições normais dentro de sala de aula. É natural e frequente que as neurociências sejam utilizadas para uma melhor compreensão das dificuldades e transtornos de aprendizagem, entretanto, pressupõe-se uma aplicação destes conhecimentos multidisciplinares também em benefício à alunos com o desenvolvimento típico.

Apesar desta possibilidade, o contrário parece ocorrer. Durante entrevista no podcast Neurocast (2019), a professora e pesquisadora Roberta Ekuni afirma que

atualmente mais se pesquisa a aplicação da neurociência educacional para se elucidar por quais motivos os alunos não aprendem e não, com tanta frequência, no sentido de melhorar a aprendizagem.

As inovações e descobertas das neurociências auxiliam no diagnóstico de estudantes com dificuldades de aprendizagem e transtornos, apesar disso, este conhecimento é considerado um dado clínico. Desta forma, é necessário que haja uma tradução para o contexto da docência e do aprendizado. A falta destes esclarecimentos direcionados aos professores frequentemente os mantem afastados dos aspectos do desenvolvimento dos alunos e, conseqüentemente, de serem capazes de efetivar estratégias interligadas à temática que podem contribuir ao processo de ensino e aprendizagem (AMRAN *et al.*, 2019).

Com efeito, todos os fatores apontam que a ponte que comunica os pesquisadores e os educadores será um ponto chave para que o êxito da aplicação e enriquecimento da prática que abarca a compreensão científica sobre o cérebro, mente e aprendizagem (PICKERING, HOWARD-JONES, 2007).

As neurociências tem capacidade para contribuir com a educação, mas somente se for alimentada de forma contínua pelos educadores que, por meio de suas análises e vivências, trazem outras perspectivas, constituindo a comunicação necessária para interligar ambas as ciências (COSENZA; GUERRA, 2011). Assim, observa-se que educadores, principalmente os mais jovens, tem demonstrado grande interesse em se engajar com as pesquisas e nas pesquisas de maneira a contribuir (EVERTON; GALTON; PELL, 2000).

Durante a fase de pesquisa deste trabalho, o que mais observamos foi a dificuldade de se traduzir para a prática o que dizem as teorias das neurociências. Apesar de muito se trabalhar com as possibilidades, poucos são os trabalhos que trazem exemplos ou experiências concretas vivenciadas por professores em seu cotidiano.

Em meio a esta dificuldade prática, existem inúmeros conhecimentos das neurociências que podem utilizados pelos professores e introduzidos em determinados contextos educacionais e que nos surpreendem quando aprendemos a respeito de sua importância. O sono e os aspectos que o acompanham estão entre estas temáticas, a indicação é de que estamos aqui falando sobre “um dos grandes responsáveis pelo desempenho escolar da população brasileira” (JOFFILY; JOFFILY; ANDRAUS, 2014, p. 531). O sono é um fator que não levamos tanto em consideração,

mas que tem um papel regulador na aprendizagem, pois afeta o mecanismo de atenção, o processo de consolidação das memórias (JOFFILY; JOFFILY; ANDRAUS, 2014; LOUZADA; MENNA-BARRETO, 2007).

Apesar de existirem contribuições em áreas diversas, a maior parte das pesquisas e práticas sugeridas da neurociência educacional está relacionada diretamente com mecanismos primários de memória. Kandel *et al.* (2014) consegue conceituar, com maestria, aprendizado e memória, interligando-as:

O aprendizado refere-se a uma mudança no comportamento que resulta da aquisição de conhecimento acerca do mundo, e a memória é o processo pelo qual esse conhecimento é codificado, armazenado e posteriormente evocado (p. 1256).

A memória não é um fenômeno unitário, pois podemos classificá-la de acordo com sua natureza ou tempo de armazenamento. Conforme o tempo de armazenamento, as memórias podem ser de curto ou de longo prazo. De maneira resumida, “a memória de curto prazo mantém representações transitórias de informações relevantes para objetivos imediatos” (*Ibid.*, p. 1257) e a “memória de curto prazo é convertida seletivamente em memória de longo prazo”, conforme necessidade (*Ibid.*, p. 1257).

A memória de longo prazo pode ser explícita ou implícita: a memória que compreende os conhecimentos que são lembrados conscientemente, como fórmulas matemáticas ou receitas culinárias, damos o nome de memória explícita ou memória declarativa e a memória que se caracteriza por uma ação sem intenção, como andar de bicicleta, memória implícita ou memória não declarativa (COSENZA; GUERRA, 2011; KANDEL *et al.*, 2014).

Ainda, a memória explícita se subdivide em duas formas: a episódica e a semântica. A episódica se refere à memorização de experiências vividas, pessoais, já a semântica se volta para o aprendizado de fatos e conceitos, como os conhecimentos científicos escolares, por exemplo (*Ibid.*).

Pesquisas evidenciam que experimentos que são multissensoriais produzem mais efeitos em nossa memória do que experimentos unissensoriais (THELEN; MURRAY, 2013). Sob forma prática, isso significa que a aprendizagem será mais bem sucedida quando utilizamos diversos recursos pedagógicos diferentes que possibilitem que a criança explore mais de um sentido naquele contexto de ensino,

pois é desta maneira que facilitamos a ocorrência de uma consolidação de uma memória de longa duração.

A correspondência com a memória de longa duração se deve, principalmente, ao fato de que ao utilizarmos recursos multissensoriais, ativamos neurônios de diferentes áreas do córtex cerebral (*Ibid.*). Um princípio que também diz respeito à memória e à ativação de redes neurais é a repetição. Com frequência ouvimos que a repetição é pedagógica, mas desconhecemos os mecanismos biológicos em que se baseiam esta ideia:

Observamos a repetição do uso da informação, juntamente com sua elaboração, ou seja, sua associação com os registros já existentes, o que fortalece o traço de memória e o torna mais durável. Quantas vezes mais se repetir essa atividade, o quanto mais ligações ou “ganchos” forem estabelecidos com informações disponíveis no cérebro, melhor será, pois o registro vai se fixar de forma mais permanente (COSENZA; GUERRA, 2011, p. 62)

Uma das sugestões pedagógicas para professores e alunos encontradas durante a pesquisa foi a “*retrieval practice*” ou, em tradução, “prática de lembrar”. Visando encontrar um método que fosse capaz de efetivar um aumento da aprendizagem, a “prática de lembrar” foi elaborada por doutores da Universidade de Washington e descrita em um pequeno manual disponível para acesso gratuito. Um dos objetivos da discussão é estimular professores a pensarem em lembrar de uma informação não como objetivo de avaliar se o aluno aprendeu e sim como uma estratégia de aprendizagem (AGARWAL *et al.*, 2020).

O sistema educacional trabalha de forma a incentivar, indiretamente, os alunos a estudarem apenas quando são cobrados por avaliações. Durante o ano letivo, os alunos assistem à aulas expositivas, leem textos e fazem anotações afim de internalizar esse conhecimento, confiando que as informações ficarão detidas em suas mentes. Um aluno pode até ir bem em uma prova, entretanto, nesses casos, a consequência é uma aprendizagem de curta duração. Assim, quando o aluno lê um texto já abordado em aula, tem a vaga sensação de que aprendeu porque o conteúdo lhe é familiar, embora o aprendizado não tenha ocorrido, o que se confirma quando o aluno tenta acessar essas informações posteriormente e não obtém sucesso (*Ibid.*).

A “prática de lembrar” sugere um aprendizado de longa duração é mais propenso a ocorrer quando as informações são resgatadas de “dentro para fora”: o

aluno busca um determinado conhecimento em suas memórias ao invés de ler a resposta no livro didático (de “fora para dentro”). É um longo processo, que exige esforço e persistência, pois quanto mais resgatamos uma informação, mais nosso cérebro entende que é importante guardar aquela memória e menos chances ela tem de ser eliminada (*Ibid.*).

Um grande temática presente nas discussões frequentes de neurociências e educação, está a participação das emoções no aprendizado. Ao contrário do que se afirma no senso comum, a razão e a emoção não são completamente opostas. Não é necessário deixar nossas emoções de lado para agir racionalmente, pois são justamente nossas emoções e sentimentos que importam para a racionalidade humana (DAMÁSIO, 2012).

De acordo com Cosenza e Guerra (2011), as emoções registram importantes momentos da vida de um indivíduo, produzindo alterações fisiológicas que refletem nos processos cognitivos e que, de acordo com as emoções que produzimos com experiências anteriores, tendemos a escolher se repetiremos aquelas ações ou não.

A emoção interfere no aprendizado e na memória. O indivíduo propende a ficar vigilante quando entra em contato com algo que lhe produz uma carga emocional, direcionando sua atenção aos detalhes que considera importante, o que pode resultar na criação e conservação de memórias, portanto influencia no aprendizado (*Ibid.*).

Além dos aspectos emocionais, muitos estudos retratam noções neurocientíficas sobre a utilização da música no espaço escolar como recurso mediador da aprendizagem. Isto ocorre porque o processamento da música no cérebro envolve uma série de áreas diferentes, é desta forma que o aluno consegue acompanhar o ritmo, altura do som, melodia e outras informações implícitas. Ademais, a música, seja no produzir ou no ouvir, possibilita o envolvimento da criatividade, das emoções, da coordenação motora e do sistema sensorial, em conjunto (FIGUEIREDO, 2017).

Diante destas possíveis contribuições, prosseguiremos para o próximo capítulo. Dado nosso tempo limitado de pesquisa e, visto que as contribuições parecem abundantes, optamos por nos ater a um assunto foco para trabalhar, dentro da neurociência educacional. Temos a consciência de que o campo de pesquisa entre as neurociências e a educação é vasto, portanto, optamos pelo recorte que, nos pareceu mais pertinente dentre suas contribuições à prática: as funções executivas (FEs). Em um breve resumo, as FEs são habilidades cognitivas desenvolvidas ainda

na infância que tem seu papel relacionado às funções complexas do comportamento humano (HAMDAN; PEREIRA, 2009). Desta forma, abordaremos em seguida os aspectos pertinentes às FEs e suas implicações no campo da educação.

3 A COMPLEXIDADE DO COMPORTAMENTO: FUNÇÕES EXECUTIVAS

Neste segundo capítulo, iremos aprofundar a discussão sobre a possibilidade de utilização dos conhecimentos das neurociências no campo da educação trazendo um enfoque para as funções executivas. O referencial teórico do capítulo traz como base, principalmente, os estudos da autora americana Adele Diamond (1952). Diamond é formada na Universidade de Harvard e atualmente é professora na *University of British Columbia*, é uma das pioneiras no estudo do desenvolvimento cognitivo e é referência em pesquisa de funções executivas.

Além da autora, o capítulo traz outros artigos nacionais e internacionais de alto impacto. Em uma primeira sessão, explica-se mais sobre o que são as funções executivas. Em um segundo momento do capítulo, iremos discutir os benefícios de seu desenvolvimento e as intervenções práticas que podem ser realizadas na escola.

3.1 FUNÇÕES EXECUTIVAS: DEFINIÇÃO, CONCEITOS E DESENVOLVIMENTO

De acordo com o dicionário da *Internacional Neuropsychological Society*, funções executivas⁹ são “[...] habilidades cognitivas necessárias para realizar comportamentos complexos dirigidos para determinado objetivo e a capacidade adaptativa às diversas demandas e mudanças ambientais” (LORING, 1999, p. 64 *apud* ROTTA; BRIDI FILHO, BRIDI, 2016, p. 277-278).

As funções executivas são habilidades cognitivas dependentes principalmente do córtex pré-frontal do sujeito, habilidades estas que utilizamos quando não podemos confiar em nossos instintos primeiros ou intuições ou quando o adequado não é estar no automático, mas sim se concentrar e focar a atenção para agir contra o que naturalmente faríamos e, ao invés disso, resistir para fazer o que é preciso ser feito (SIMMS MANN'S INSTITUTE, 2016).

[...] as funções executivas [...] atingiram seu ápice na espécie humana e vêm a ser o que nos diferencia dos demais animais. Elas envolvem-se nos âmbitos cognitivo, emocional e social, na medida em que apresentam como objetivo a regulação do comportamento e permitem

⁹ Referimo-nos às FEs no plural porque considera-se que não uma função única, mas uma família de funções cognitivas (DIAMOND, 2016).

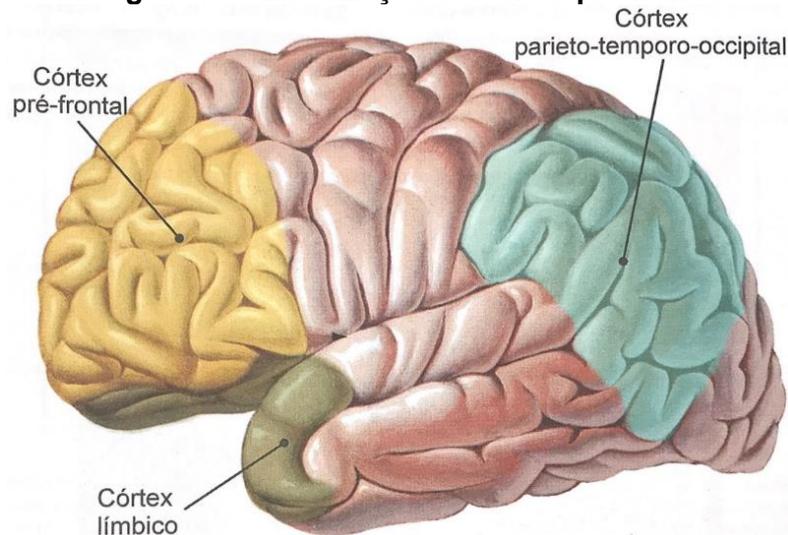
aos sujeitos direcionar comportamentos a metas, avaliar a eficiência e a adequação desses comportamentos, abandonar estratégias ineficazes por outras mais eficientes, resolvendo, desse modo, problemas imediatos, de médio e longo prazo (ROTTA; BRIDI FILHO; BRIDI; 2016).

Em outras palavras, as “funções executivas se referem a um conjunto de habilidades responsáveis pelo controle *top-down* do comportamento. Ou seja, essas habilidades atuam no controle e na regulação de outros processos comportamentais, o que inclui cognição e emoção” (DIAS; SEABRA, 2013, p. 206). As FEs são necessárias sempre que o sujeito entra em contato com uma nova situação, seja um problema que necessita de uma resolução, traçar um objetivo ou se adaptar conforme a circunstância do momento (*Ibid.*).

Podemos não perceber, mas estamos diante de situações que exigem estas habilidades durante toda a vida. Nossas funções executivas são postas a prova a todo momento, seja na infância ou na fase adulta. Esperar antes de agir, ter a capacidade de resistir a tentações, flexibilidade para contemplar diferentes perspectivas, não tirar conclusões precipitadas, focar apesar das distrações do ambiente, fazer conexões com informações em sua própria mente, evitar fazer ou dizer algo que pode se arrepender posteriormente, planejar e resolver problemas são alguns dos exemplos do cotidiano (DIAMOND, 2011; SIMMS MANN'S INSTITUTE, 2016).

Como mencionado acima, boa parte das funções executivas dependem do córtex pré-frontal (**Imagem 13**), entre outras regiões cerebrais com as quais estão conectadas. O córtex pré-frontal se delonga em sua maturação e ainda não está completamente maturo em vinte anos de vida do indivíduo. Visto que as funções executivas dependem do córtex pré-frontal, acreditava-se que estas habilidades não se faziam presentes em bebês ou crianças (SIMMS MANN'S INSTITUTE, 2016; DIAMOND, 2016).

Imagem 13 – Localização do córtex pré-frontal



Fonte: BRANDÃO, 2004.

O córtex pré-frontal ocupa pouco menos que um terço da massa do córtex e possui interações com outras áreas corticais e encefálicas. Assim, segundo Capovilla *et al.* (2007), o córtex pré-frontal “[...] tem levado pesquisadores a caracterizá-lo como um local de integração entre diferentes processos cognitivos e como a interface entre a cognição e a emoção” (p. 51).

Sabemos hoje que, mesmo na tenra idade, consegue-se exercitar as funções executivas, embora não na mesma proporção de um sujeito adulto, em sua maturação completa. Diamond (2016) traz uma explicação análoga: as pernas de um bebê ou de uma criança não são da mesma extensão das pernas de um adulto completamente desenvolvido, é provável que esse desenvolvimento demore cerca de 15 anos, para fiquem do tamanho das de um adulto. Apesar disso, é com aquelas pernas imaturas que um bebê de dois anos consegue andar ou até correr. O mesmo acontece com as funções executivas que, mesmo em bebês ou crianças estão presentes e funcionais, mas imaturas.

As funções executivas tem um curso longo de desenvolvimento, por volta dos 12 meses até o início da idade adulta, acompanhando o desenvolvimento do córtex pré-frontal. Algumas habilidades tem tempos distintos de maturação, algumas estão bem estabelecidas na adolescência, enquanto outras mais complexas estarão desenvolvidas mais tarde (DIAS; SEABRA, 2013). Apesar disso, embora o córtex pré-frontal seja imaturo, ele tem a capacidade de amparar as FEs em certo grau e, com

treinamento das funções, mesmo na infância, é possível que o córtex pré-frontal ampare as FEs com maior proficiência (DIAMOND, 2016).

3.1.1 Funções executivas centrais e complexas

De acordo com Diamond (2016), as funções executivas centrais são três: flexibilidade cognitiva, controle inibitório ou inibição e memória de trabalho ou memória operacional. Partindo das três FEs centrais, outras habilidades se destacam, como por exemplo o raciocínio, resolução de problemas, planejamento e tomada de decisão. Estas são classificadas como funções executivas complexas (DIAMOND, 2016; DIAS; SEABRA, 2013).

Entre as três centrais, a memória operacional ou de trabalho se caracteriza pela gerência das informações temporárias mantidas e manipuladas pela consciência para realizar uma tarefa ou utilizada quando necessário antes de ser descartada (*Ibid.*). É uma habilidade crucial e indispensável, pois é necessária para que possamos dar sentido a qualquer coisa, conforme o tempo passa, em relação ao que vimos anteriormente (DIAMOND, 2016). Sendo assim, a memória operacional é útil para fazer conexões com outras memórias já consolidadas, na capacidade de lembrar de sequências, acontecimentos e também é essencial na participação de comportamentos complexos como planejamento e organização (DIAS; SEABRA, 2013).

Trazendo este conceito para o contexto escolar, a memória operacional auxilia o aluno a dar sentido ao que se estuda. Para a compreensão da linguagem, falada ou escrita, a memória operacional é um pré-requisito porque quando a criança foca sua atenção no que está sendo dito e em seguida, na próxima frase, a anterior já não está mais presente ou, no caso da leitura, já não está direcionando o olhar para a frase anterior. Assim se repete também com o raciocínio porque compreende porções de informações que manipulamos na mente e em seguida vemos como elas se relacionam entre si, mas para tanto, necessitamos nos recordar da informação inicial para estabelecer conexões (DIAMOND, 2016).

Quando nos referimos que, em crianças menores, as funções executivas não estão propriamente amadurecidas, não é diferente para a memória operacional de bebês ou crianças mais jovens. Nesta fase, consegue-se manter uma ou duas informações na mente por um tempo considerável, mesmo bebês de 9 a 12 meses

conseguem trabalhar suas memórias operacionais, entretanto, é uma habilidade que é desenvolvida lenta e progressivamente durante a vida (*Ibid.*).

É dos 3 aos 5 anos de idade, aproximadamente, que as crianças iniciam e desenvolvem a capacidade de criar imagens mentais e trabalhar manipulando-as. Como explica Seabra e Dias (2013):

Por exemplo, na resolução de um quebra-cabeça, uma criança com até 3 anos de idade experimentaria peça a peça para completar um quadro com um item faltante. Já em torno dos 5 anos, a criança se torna capaz de manipular o conjunto mentalmente; ela ignora peças muito pequenas ou grandes, aquelas obviamente erradas, e seleciona apenas aquelas com maior possibilidade de completar o quadro. Ela não precisa mais tentar encaixar uma a uma, pois já ponderou as características da situação mentalmente (p. 208).

O controle inibitório, ou inibição, é uma habilidade importante no cotidiano pois utilizamos a inibição para realizar a maioria das tarefas do dia a dia, controlando nossas emoções e comportamentos (DIAS; SEABRA, 2013). Inclui-se aqui a inibição de ações, como respostas motoras que podem ser verbais, como dar respostas mais sábias e melhor elaboradas e outros subtipos, a maioria envolvendo aspectos de autocontrole, como fazer-se esperar. Em conceito, o controle inibitório envolve conter comportamentos inadequados, medir quando um comportamento é indevido para determinada situação, terminar uma tarefa necessária, mas tediosa, ao invés de fazer algo que seja mais divertido, focar a atenção apesar das distrações e resistir a tentações (DIAMOND, 2016; DIAS; SEABRA, 2013).

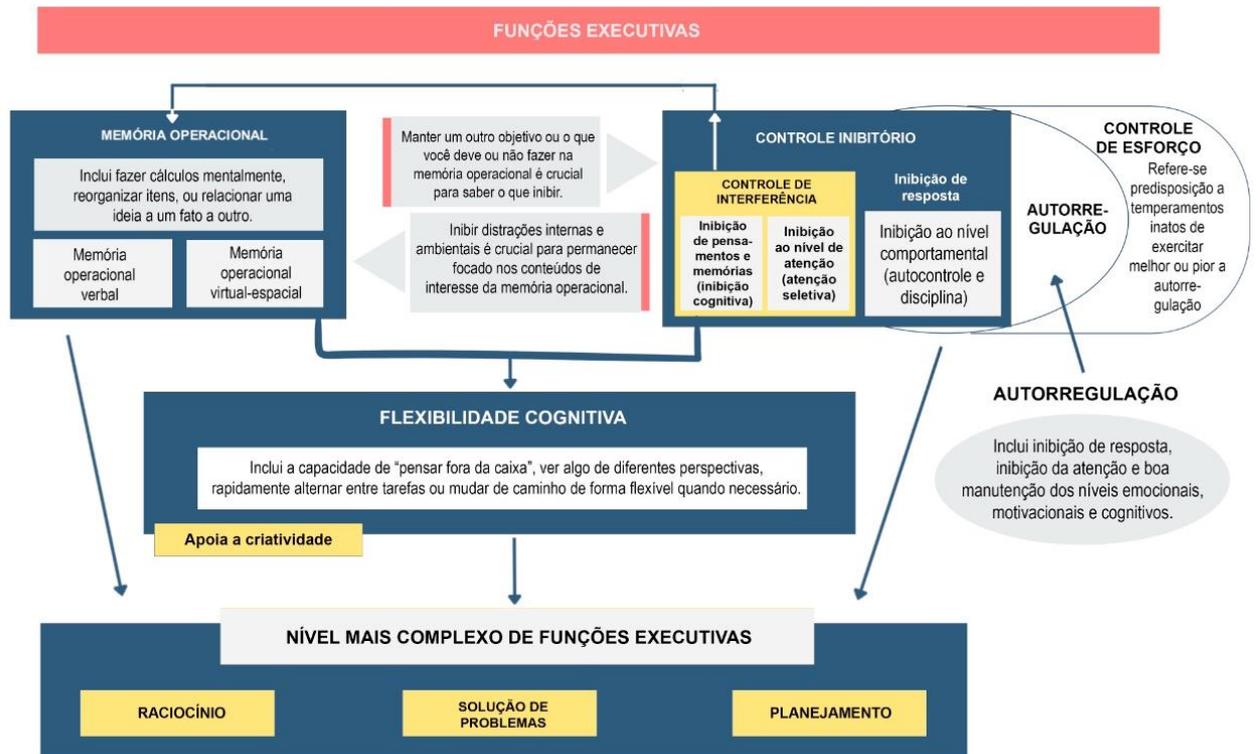
Sugere-se que o controle inibitório é a primeira habilidade a se desenvolver, em torno dos 12 meses de um bebê. Entretanto, até os 3 anos de idade, esse domínio é ainda pouco desenvolvido, de forma que os comportamentos ainda são majoritariamente espontâneos. Aos 4 e 5 anos inicia uma maior maturação desta habilidade e, portanto, as crianças passam a controlar e refletir sobre suas ações de modo mais eficiente (DIAS; SEABRA, 2013).

Entremeados nestas noções também podemos citar os processos de atenção e o controle de pensamentos, chamado de controle de interferência (*Ibid.*). O controle de interferência está vigorosamente interligado à memória operacional, mais do que qualquer outra forma de controle inibitório. Como podemos ver na

Imagem 14, essa relação aparece porque raramente uma habilidade é exercida na ausência da outra, uma vez que o sujeito não saberia o que inibir se não

mantivesse o objetivo em sua memória operacional. Ademais, não poderia manter o foco no objetivo em sua memória operacional se não inibisse outras distrações, como pensamentos que são irrelevantes para aquele momento (DIAMOND, 2016).

Imagem 14 – Funções executivas centrais e complexas



Fonte: Adaptado e traduzido de Diamond (2016) pela autora, 2022.

A autorregulação especifica processos que regulam os níveis normais de emoção, motivação e cognição no sentido de gerenciamento, controle e regulação em relação ao estado fisiológico emocional e em como este estado é expresso no comportamento. Desta forma, “a auto regulação também abrange a importância da motivação e do interesse como respostas emocionais que podem ser críticas para a realização dos objetivos” (DIAMOND, 2016, p. 17).

O controle de esforço¹⁰ aborda um aspecto inato do temperamento de se autorregular com maior ou menor facilidade, encontrar mais dificuldade na regulação ou menos naturalidade neste comportamento ou apresenta-lo em excesso, como em casos de falta de espontaneidade. Por fim, a atenção executiva é um sinônimo do controle inibitório da atenção, uma regulação que se mantém em prontidão para atender à estímulos em potencial (*Ibid.*).

¹⁰ Do termo em inglês “*effortfull control*”.

É importante ressaltar que o controle inibitório é especialmente difícil para crianças pequenas. Por isso, na idade pré-escolar e primeiros anos do fundamental, é sensato investir em seu desenvolvimento que, não obstante, se delonga pois não se encontra totalmente maduro mesmo aos 9 anos de idade, pois continua seu melhoramento durante a fase da adolescência (*Ibid.*).

Entre os 4 e 5 anos, progressivamente, desenvolvem-se as habilidades de focalizar a atenção e de recordar-se de algum evento de forma deliberada, ignorar distratores, postergar gratificação, interromper um comportamento inadequado, agressivo por exemplo, e agir de modo “adaptativo”, adequando seu comportamento às demandas e regras sociais, inclusive controlando suas emoções. [...] Podem, ainda, distinguir entre o que devem ou não fazer, que comportamentos são ou não adequados, e sentem desconforto na transgressão, o que significa que são capazes de compreender, apesar de nem sempre serem capazes de seguir as regras que lhes são impostas (DIAS; SEABRA, 2013, p. 208).

Já a flexibilidade cognitiva trata-se da adaptação em seu comportamento que o sujeito realiza para se adequar a um ambiente, a determinadas regras que necessitam ser seguidas (DIAMOND, 2016; DIAS, SEABRA, 2013). É a habilidade que se utiliza para apreciar diferentes perspectivas. Ainda acompanhando a

Imagem 14, considera-se, também, que a flexibilidade cognitiva está interligada de forma crucial com as duas outras FEs centrais, pois para adaptar-se, é necessário inibir a perspectiva anterior que estava sendo empregada e lembrar-se desta, portanto, requer do sujeito uma boa memória operacional e controle inibitório (DIAMOND, 2016).

A flexibilidade cognitiva é a habilidade que menos encontramos em crianças pequenas, durante o curso de seu desenvolvimento, como reforça Adele Diamond:

Enquanto que as análises fatoriais de FEs em adultos rotineiramente chegam a três fatores (memória de trabalho, controle inibitório e flexibilidade cognitiva), análises fatoriais com crianças são mais propensas a encontrar apenas dois fatores (memória de trabalho e controle inibitório). Não surpreendentemente, flexibilidade cognitiva surge mais tarde do que a memória de trabalho ou controle inibitório (DIAMOND, 2016, p. 15, tradução nossa).

Pondera-se que o desenvolvimento da flexibilidade cognitiva é o mais tardio, com relação aos outros dois domínios das funções executivas centrais, e ocorre por volta dos 5 aos 7 anos de idade (DIAS; SEABRA, 2013). Apesar disso, é crucial que

a criança exercite todas as três funções executivas centrais e também as complexas, além de desafiá-las, pois é possível treiná-las e melhorá-las desde a primeira infância (DIAMOND; LEE, 2011).

Visto que as FEs na primeira infância são vigorosamente preditivas das funções executivas na vida adulta e muito relevantes para melhorar a prontidão escolar, o sucesso acadêmico e ao longo da vida, trazê-los para dentro do contexto escolar pode trazer inúmeros benefícios às crianças (DIAMOND, 2011; DIAMOND, 2016), como veremos detalhadamente a seguir ainda neste capítulo.

3.2 FUNÇÕES EXECUTIVAS: DA IMPORTÂNCIA TEÓRICA À PRÁTICA

Na escola são inúmeras as situações em que as crianças se deparam que as levam a necessitar e a depender de suas funções executivas. Para aprender, é necessário que o aluno seja capaz de exercer os processos de atenção e memória, que são amplamente trabalhados nas funções executivas.

O papel das funções executivas para a aprendizagem também tem sido destacado recentemente, havendo não apenas evidências da relação entre essas habilidades e o desempenho escolar, mas também dados acerca da importância dessas habilidades para as competências de leitura e matemática. Isso torna imprescindível a consideração das habilidades executivas e sua avaliação frente à queixa de dificuldade de aprendizagem (DIAS, SEABRA, 2013, p. 207)

Pesquisas sobre aprendizagem apontam que a competência no planejamento e controle são fundamentais para o processo de aprender e que falhas ou atrasos em seu desenvolvimento são encontradas em alunos com dificuldades de aprendizagem (CORSO et al., 2013).

Segundo Diamond (2016), as FEs são primordiais para o sucesso escolar. No contexto de seus escritos, a autora parece deixar implícito a noção de que compreende sucesso escolar como uma espécie de sinônimo à ideia da criança atingir objetivos educacionais esperados para idade e série¹¹. Comumente, as funções

¹¹ Considerando a terminologia utilizada pela autora Adele Diamond para referir-se às funções executivas, é válido lembrarmos que as noções de sucesso e fracasso escolar são complexas e que se baseiam em construções sócio-históricas constituídas, muitas vezes, com falhas no rigor científico. É importante considerar que não se pode mensurá-los apropriadamente sem que antes de estabeleça critérios de investigação de forma a não

executivas são apontadas como sendo mais importantes para a prontidão escolar¹² do que o QI, leitura inicial ou matemática. Além disso, crianças que melhoram seu grau de proficiência nestas habilidades cognitivas melhoram, de maneira relevante, a nomeação de letras, leitura e vocabulário (DIAMOND, 2011; 2016).

Fora da escola estas habilidades também são cruciais. Pesquisas demonstram que pessoas que tem funções executivas pobres tem dificuldade de encontrar e manter um emprego. Além disso, tendem a ter menos sucesso em suas relações interpessoais e casamento, com uma maior probabilidade de tomar ações por impulso (DIAMOND, 2016).

As funções executivas estão relacionadas até mesmo com distúrbios emocionais, de saúde e criminalidade. Pessoas que não tem um bom funcionamento em suas funções executivas podem ter graves problemas sociais, emocionais e de conduta e recorrer a agressões ou vícios. Em pesquisa, Moffitt et al. (2011) descobriu que crianças com idade entre 3 e 11 anos que apresentavam um controle inibitório menos desenvolvido, tornaram-se adultos com uma saúde prejudicada, inclinados ao abuso de substâncias, a estarem acima do peso, trabalhar em empregos com salários menores, cometerem mais crimes e serem menos felizes.

Por isso, é relevante considerar: as FEs podem ser melhoradas. Na infância, na fase adulta e até mesmo na velhice e, mesmo que seu desenvolvimento ocorra se forma progressiva e lenta, é importante que haja um treinamento na infância, principalmente pelo que justifica Diamond (2016):

A lacuna inicial entre aqueles com melhores e piores FEs, muitas vezes não desaparece por conta própria, mas pode se tornar maior com o tempo e os problemas de FE (especialmente problemas de controle inibitório) na primeira infância predizem problemas de FE anos mais tarde (p. 20, tradução nossa).

banalizar os termos, uma vez que é possível que haja uma variação do que se concebe como sucesso e fracasso escolar (LAHIRE, 1997; CHARLOT, 2000).

¹² Entende-se por prontidão escolar, de acordo com Carlton e Winsler (1999) o êxito da criança em acompanhar a escola e, conseqüentemente, o currículo ofertado por ela. É, também, concebida por Andrada (2007) como a prontidão da criança para aprender. High *et al.* (2008) estabelecem que a prontidão escolar é definida em três aspectos: a prontidão física, motora, emocional e cognitiva da criança, individualmente, a prontidão da escola para receber a criança e o amparo da família e comunidade ao desenvolvimento da criança. Em consonância, Pianta e Walsh (1996) igualmente reforçam a importância e o papel da escola e da família para a prontidão escolar, entretanto, enfatizam que não há um estado de prontidão que as crianças ou escolas consigam atingir que garanta a inclusão de todos.

Em igual proporção, a prontidão escolar, que é dependente das FEs nas crianças, consegue prever vigorosamente a performance acadêmica do sujeito muitos anos mais tarde, entre o ensino médio e faculdade. Desta forma, podemos afirmar que trabalhar as funções executivas com crianças pode ser absolutamente crucial ao seu desenvolvimento porque afeta sua trajetória de vida (*Ibid.*).

No desenvolvimento das FEs também é essencial a abordagem social, emocional e física (DIAMOND; LEE, 2011). Em sala de aula, as crianças com menor controle inibitório têm dificuldades, por exemplo, para prestar atenção, costumam dar as respostas antes do solicitado, sair de seus assentos, tomar objetos de outras crianças. Assim, sempre são repreendidos pelos professores e podem ter dificuldades para tirar boas notas. A longo prazo, há a possibilidade de o mau desempenho passar a ser crônico e o próprio aluno pode passar a manifestar baixas expectativas sobre si mesmo, enquanto que, em contraposição, há um reforço positivo em relação a alunos com melhores FEs por serem elogiados com mais frequência pelo bom comportamento e boas notas (DIAMOND, 2016).

Melhorar as habilidades das FEs cedo faz com que as crianças comecem uma trajetória de sucesso. Por outro lado, permitir que as crianças comecem a escola atrasadas nas habilidades de FEs é deixá-las começar em uma trajetória negativa que pode ser extremamente difícil e cara para se reverter. Pode ser surpreendentemente difícil mudar percepções de si, expectativas de si e as expectativas dos outros e de uma instituição uma vez que elas já tenham sido formadas (*Ibid.*, p. 21, tradução nossa).

Como podemos perceber, as funções executivas também sofrem influência dos fatores ambientais, sejam estes negativos ou positivos. Baixa condição socioeconômica, por exemplo, afeta desfavoravelmente o desenvolvimento das FEs, enquanto que, a paternidade sensível e respeitosa, um traço positivo possível na infância do sujeito, pode ser benéfico ao desenvolvimento destas funções (*Ibid.*).

Em sintonia com estas informações, podemos elencar as pesquisas sobre desenvolvimento infantil na primeira infância. Como dito anteriormente, as FEs são essenciais para a prontidão escolar, em uma relação de dependência. Desta forma, é fundamental que se leve em consideração as experiências e ambiente das crianças antes de frequentarem a escola, como explicam High *et al.* (2008):

Todas as primeiras experiências de uma criança, seja em casa, na creche ou em outros ambientes pré-escolares, são educacionais. Quando as primeiras experiências são consistentes, sólidas em termos de desenvolvimento e emocionalmente favoráveis, há efeitos positivos na criança e na família. Concentrar-se apenas na educação das crianças a partir do jardim de infância é ignorar a ciência do desenvolvimento inicial e negar a importância das primeiras experiências (p. 1008, tradução nossa).

Sugere-se que vários fatores podem prejudicar o desenvolvimento das funções executivas pois aumentam o estresse, como pais divorciados, crescer em comunidades vulneráveis e violentas e mudar-se com frequência. As FEs são vulneráveis à influência do estresse, pois quando estamos estressados, o córtex pré-frontal trabalha de uma maneira diferenciada. Por causa do excesso de dopamina, a atividade neural é afetada e a habilidade de pensar e o autocontrole acabam debilitados (DIAMOND, 2016).

Em igual medida, pais que são mais controladores, receosos e severos tendem a ter filhos com FEs piores do que pais que contribuem para o desenvolvimento da autonomia de suas crianças, deixando-as elaborarem perguntas, entregando um maior suporte e apoio emocional. Este último comportamento na parentalidade costuma gerar crianças com maior desenvolvimento das funções executivas, melhores notas escolares e maior resiliência (*Ibid.*).

De acordo com Diamond (2016), uma das urgências sociais mais cruciais é o desenvolvimento de estratégias para que as crianças recebam apoio em relação ao desenvolvimento de suas funções executivas desde a primeira infância, visto que essas habilidades se caracterizam como grandes bandeiras sinalizadoras de maior qualidade de vida, no geral.

No Brasil, onde, por conta do trabalho dos pais, as crianças são deixadas aos cuidados dos professores nas creches e Centros Municipais de Educação Infantil (CMEIs) com idades que vão de 4 meses a 5 anos, a estratégia de desenvolvimento das funções executivas pode ser desenvolvida junto à escola, principalmente porque, como vimos, as FEs estão extremamente atreladas ao sucesso e prontidão escolar. Diamond (2016) afirma, ainda, que é mais promissor lançar as crianças em um caminho próspero e positivo em seu desenvolvimento das FEs na primeira infância, também prevenindo futuros problemas, do que permitir seu aparecimento e depois remediá-los.

3.2.1 Desenvolvimento das funções executivas em crianças: abordagens práticas

De início, vale ressaltar que para melhorar as FEs não basta apenas utilizá-las com frequência, temos que desafiá-las (CIÊNCIAS E COGNIÇÃO, 2021). Segundo Diamond e Lee (2011), há seis abordagens práticas apoiadas por evidências científicas que podem ser utilizadas para melhorar as funções executivas em crianças: treinamento em computadores, jogos não computadorizados, exercícios aeróbicos, artes marciais, yoga e mindfulness.

O treinamento em computadores utiliza o treinamento de memória operacional CogMed® (CogMed *Working Memory Training*), um programa (Imagem 15) que traz jogos como recurso para melhorar e praticar a atenção por meio do aumento da capacidade memória operacional. Trata-se de um software que possui jogos adaptados para diferentes idades em três etapas: para crianças na idade pré-escolar, para crianças em idade escolar e para adolescentes ou adultos (COGMED BRASIL, 2015).

Imagem 15 - Programa CogMed®



Fonte: CogMed Brasil, 2015.

O programa possui 25 sessões de exercícios de 30 a 45 minutos cada, exceto para pré-escolares cujo tempo de concentração nas tarefas é diminuto, por volta de 15 a 20 minutos. O treinamento é realizado 5 dias por semana por 5 semanas, com exercícios rotativos que auto-ajustam o nível de complexidade conforme obtém respostas. De acordo com pesquisas, as atividades do programa trazem resultados em crianças com desenvolvimento típico e também crianças que foram diagnosticadas com transtorno do déficit de atenção com hiperatividade (TDAH) (DIAMOND; LEE, 2011; COGMED BRASIL, 2015).

Além do CogMed®, existem também os jogos híbridos informatizados ou não informatizados que visam o treinamento de raciocínio, implementando graus de dificuldade (DIAMOND; LEE, 2011).

Os exercícios aeróbicos e esportes são uma maneira poderosa de melhorar o funcionamento do córtex pré-frontal e das funções executivas. Para crianças de 8 a 12 anos, a corrida é um exercício que pode melhorar a flexibilidade cognitiva e criatividade, mais do que a educação física padrão (*Ibid.*).

Uma pesquisa realizada com crianças sedentárias com sobrepeso de 7 a 11 anos de idade demonstrou que ao realizar jogos com atividades aeróbicas, focado na diversão, sem competição, de 20 a 40 minutos por dia, melhorou as FEs e as habilidades em matemática quando comparado ao grupo controle. Do mesmo modo, em um experimento onde, durante o ano escolar, foram testadas crianças de 7 a 9 anos que foram submetidas a treinamento corporal que incluía 70 minutos de atividades aeróbicas e depois atividades de desenvolvimento motor, demonstraram melhora na memória operacional maior do que o grupo controle (*Ibid.*).

Artes marciais também são uma opção, pois melhoram o autocontrole e disciplina, envolvidos no controle inibitório. Crianças que praticam taekwondo tem maiores benefícios em todos os aspectos relacionados às funções executivas quando comparado com crianças que praticam apenas educação física padrão. No caso das artes marciais, as crianças que praticam também se saem melhor em matemática, os benefícios são maiores para crianças mais velhas, entre quarto e quinto ano e menores para as mais novas, na educação infantil e primeiro do fundamental (*Ibid.*).

Nesse sentido, é importante considerar que as escolas brasileiras, em sua maioria, possuem tais atividades. Entretanto, a educação física não é trabalhada todos os dias, conforme sugerido para melhorar a proficiência das funções executivas. Para o caso das artes marciais, algumas escolas particulares ofertam a atividade,

entretanto, costuma ocorrer apenas no contraturno escolar e, muitas vezes, com mensalidades a parte.

Em relação à prática de *mindfulness*, crianças que iniciam com habilidades menores nas FEs tem maiores índices de melhora e conseguem elevar seu desempenho até a média. Esta prática divide-se em três partes: meditação sentada, atividade de consciência sensorial, regulação da atenção ou consciência de outros ou do ambiente e uma varredura corporal. Atividade física sem *mindfulness* não produz resultados para melhora das FEs (*Ibid.*).

Podemos aqui acrescentar que, evidências científicas demonstram que o currículo escolar também pode ajudar no desenvolvimento das funções executivas. De acordo com Diamond e Lee (2011), dois currículos demonstram ser importantes para aprimorar estas funções: o *Tools of the Mind* e o Montessori.

O *Tools of the Mind* é um currículo para educação infantil desenvolvido por Bodrova e Leong que se baseia na psicologia histórico cultural, de acordo com as teorias de Lev Vygotsky (1896-1934) (BODROVA; LEONG, 2018; PANTOJA *et al.*, 2017).

O *Tools of the Mind* ou *Tools*, foi desenvolvido inicialmente em Denver, Colorado, na década de 90 e atualmente constitui-se como um programa amplo que atende cerca de trinta mil crianças com idades entre 3 e 6 anos, em diversos países, mas principalmente nos Estados Unidos da América, ainda que existam escolas no Canadá e Chile que utilizem o currículo. O sistema é utilizado em escolas públicas e privadas, de meio-período ou integrais e foi elaborada para ser multinível de maneira a atender crianças de diferentes idades (BODROVA; LEONG, 2018).

Segundo os desenvolvedores do currículo, o objetivo principal é auxiliar as crianças a tornarem-se “mestres de seu próprio comportamento¹³”, nas palavras de Vygotsky (BODROVA; LEONG, 2018), por meio da promoção de atividades que amparem as crianças em seu desenvolvimento social, emocional e cognitivo (BODROVA; LEONG, 2018; PANTOJA *et al.*, 2017).

Vygotsky enfatizou a importância do brincar de faz de conta para desenvolvimento, principalmente para o pensamento simbólico e auto-regulação ou volição, nas palavras do autor. Enquanto a brincadeira de faz de conta acontece, a criança precisa exercitar seu controle inibitório para interpretar um personagem e

¹³ Tradução livre do inglês para “*masters of their own behavior*”.

depois outros, com diferentes características e papéis, fazendo os ajustes necessários. A brincadeira do faz de conta exercita todas as três FEs centrais e também é central para o currículo *Tools of the Mind* (BODROVA; LEONG, 2018; DIAMOND; LEE, 2011).

Uma das essências do programa é o auxílio diferenciado dado pelos professores aos alunos (e, também, não exclusivo do currículo *Tools*), denominado de “*scaffolding*”, um termo em inglês que significa “andaime”, em tradução direta para o português, mas que aplicado ao contexto educacional não possui palavra específica em tradução. Transformada a realidade da língua brasileira, pode ser conceituada como uma “assistência” ou “amparo” dado ao aluno ao mediar a aprendizagem, como no paradigma Vygotskiano das noções de intrução, apesar do termo não ser utilizado pelo autor¹⁴ (BODROVA, LEONG, AKHUTINA, 2011).

Preconiza-se que o professor interaja com o aluno de forma a ampará-lo na realização de novas tarefas, assim, posteriormente, ele poderá agir de maneira independente em tarefas semelhantes futuramente. De acordo com Bodrova, Leong e Akhutina (2011), “essas interações devem estar na zona de desenvolvimento proximal de cada indivíduo para que eles suportem as habilidades e conhecimento que estão no limite de emergir” (p. 20, tradução nossa), pois, segundo os autores, é importante ressaltar que

Quando assistindo, o adulto não faz com que a tarefa fique mais fácil, mas, ao contrário, faz com que o trabalho da criança fique mais fácil por meio do suporte dado a criança nos estágios iniciais e depois, gradualmente, retirando esse apoio conforme a criança consiga melhorar a nova habilidade. Um suporte apropriado é aquele que não apenas faz com que fique mais fácil de completar a tarefa ou traga a superfície comportamentos mais maduros mas também cumpra um papel na “construção da mente” da criança, influenciando o desenvolvimento de categorias mentais e processos responsáveis para o desempenho da criança melhorar em uma variedade de tarefas. Portanto, uma assistência eficiente providencia apenas suporte temporário, necessário apenas até os novos processos mentais e categorias totalmente desenvolvidas e podem ser usadas pela criança sem uma assistência externa (BODROVA, LEONG, AKHUTINA, 2011, p. 20, tradução nossa).

¹⁴ O termo correspondente encontrado nos escritos de Vygotsky é “*razvivajuschee obuchinije*”, que em tradução confere o significado de “desenvolvimento orientado por instrução” (BODROVA; LEONG; AKHUTINA, 2011).

O currículo também se fundamenta em contribuições pós-Vygotskianas, de autores como Piotr Galperin (1902-1988), Daniel Elkonin (1904-1984), Alexander Zaporozhets (1905-1981) e Leonid Venger (1925-1992). Segundo Bodrova e Leong (2018), essas contribuições podem se resumir no conceito de amplificação do desenvolvimento infantil, termo criado por Alexander Zaporozhets que indica que as instruções educacionais proporcionam um melhor desenvolvimento das crianças, em concordância com os princípios de Vygotsky.

A amplificação se estabelece em crítica aos currículos de educação infantil que são adaptações (“cópias em miniatura”, como referem-se os autores) dos currículos de ensino fundamental (EF), seguindo os mesmos métodos e materiais utilizados no EF I. Além disso, o conceito de amplificação também se opõe a ideia de “desenvolvimento espontâneo” das crianças, a noção de que o desenvolvimento inicial não deveria ser estimulado por instruções externas (BODROVA; LEONG, 2018; ZAPOROZHETS, 1986).

As oportunidades educacionais ideais para que uma criança pequena atinja seu potencial e se desenvolva de forma harmoniosa não são criadas por uma instrução ultraprecoce destinada a encurtar o período da infância, que transformaria prematuramente uma criança pequena em pré-escolar e uma pré-escolar em uma criança do primeiro ano. O que é preciso é justamente o oposto – ampliação e enriquecimento do conteúdo nas atividades que são exclusivamente pré-escolares: da brincadeira à pintura, às interações com os pares e adultos (ZAPOROZHETS, 1986, p. 88 *apud* BODROVA; LEONG, 2018, tradução nossa).

Nesse sentido, as atividades são elaboradas para que a criança se desenvolva e esteja preparada para a próxima etapa do aprendizado, de forma a cumprir os pré-requisitos para a transição das fases escolares (BODROVA; LEONG, 2018).

Como mencionado acima, a principal característica do currículo *Tools* são as brincadeiras de faz de conta, entretanto, são brincadeiras direcionadas para serem o que se classifica de intencionais e maduras¹⁵, conceitos pós-Vygotskianos concebidos por Daniel Elkonin. Segundo Elkonin (2005 *apud* BODROVA; LEONG, 2018), apenas este tipo de faz de conta consegue de constituir como uma atividade que favoreça o desenvolvimento de crianças pequenas. Assim, em definição, a brincadeira madura

¹⁵ “*Intentional mature play*” em inglês.

se diferencia das outras atividades infantis porque o sujeito do faz de conta é o adulto, seu trabalho e suas relações (*Ibid.*).

Três pontos principais conferem o caráter intencional e maduro da brincadeira: o primeiro é o uso de objetos substitutos que representem a mesma função do objeto real. A medida que a brincadeira continua, normalmente estes objetos tornam-se desnecessários e são trocados por palavras que o descrevam ou gestos. O segundo é a capacidade da criança em manter-se no papel durante a brincadeira, conservando as atitudes consistentes com aquele personagem. Por fim, o terceiro ponto é a qualidade elevada dos cenários imaginários, que geralmente abrangem mais de um tema e mais de um roteiro, além de durar dias ou mesmo semanas. Conforme a brincadeira torna-se mais madura, aumentam a complexidade dos cenários, dos papéis, das relações entre os personagens e a quantidade de temáticas que são relevantes à brincadeira. Realizar um planejamento do futuro da brincadeira também ajuda a caracterizar a brincadeira madura, uma vez que para esta organização, é necessário um domínio das crianças em relação a habilidade de aderir uma série de comportamentos intencionais (*Ibid.*).

Crianças que não apresentam uma brincadeira de faz de conta madura podem apenas conseguir brincar se tiverem acesso a um objeto réplica. Além disso, não possuem ainda a habilidade de executar um papel desempenhando, em conjunto, as ações consistentes com o personagem. Ainda, os cenários das brincadeiras imaturas são menos complexos, inserindo um ou dois roteiros de forma a, muitas vezes, confundirem a ordem dos roteiros, sem considerar se a sequência de acontecimentos na brincadeira faz sentido (*Ibid.*).

Portanto, quando pensamos em relacionar a atividade da brincadeira de faz de conta madura e intencional à instrução escolar, o que podemos perceber é que a brincadeira conduz a criança a uma maturidade do pensar e planejar, necessários ao seu desenvolvimento. Em um primeiro momento, para crianças pequenas, é essencial que o aluno vá aos poucos progredindo suas habilidades até que consiga atingir um nível mais elaborado. Como menciona os autores, “essa capacidade de se engajar em comportamentos intencionais permite que as crianças pequenas façam a transição necessária da aprendizagem que “segue a própria agenda da criança” para a aprendizagem que “segue a agenda da escola” (p. 1098, *Ibid.*).

Um estudo realizado por Barnett *et al.* (2008) evidenciou que o *Tools* se apresenta como “[...] um currículo adequado ao desenvolvimento, com forte ênfase no

brincar, pode melhorar o aprendizado e o desenvolvimento, de modo a melhorar o sucesso social e acadêmico das crianças pequenas” (p. 299, tradução nossa). Desta forma, ainda, a pesquisa sugere que os problemas de comportamento infantis podem ser contornados por meio do uso de currículos que foquem no desenvolvimento da autorregulação.

Algumas atividades do currículo *Tools of the Mind* focam na autorregulação, como a denominada “*Play Planning*” (planejamento da brincadeira, em tradução): Nessa atividade, as crianças planejam oralmente e depois representam o plano da brincadeira de faz de conta no papel. O objetivo é incentivar as crianças a seguirem o plano, além de desenvolver a linguagem oral e escrita (BODROVA, LEONG, AKHUTINA, 2011).

Conforme a criança evolui e chega aos cinco anos de idade, a atividade de planejamento da brincadeira é substituída pela atividade de “*Learning Plans*” (planejamento de aprendizagem, em tradução), que também tem foco no desenvolvimento da autorregulação. Esse plano atua como um calendário no qual as crianças anotam quais atividades devem fazer para que, desta forma, seja possível permanecerem na tarefa que precisam realizar, aprenderem a revisar o próprio trabalho e desempenho, avaliando se a tarefa está concluída ou não e se o aprendizado ocorreu ou houveram dificuldades. No final de cada semana, o professor auxilia o aluno a estabelecer objetivos para a próxima semana, pois

Definir um objetivo de aprendizagem que envolve o amparo de um adulto para reflexão dos próprios processos e promove o pensamento reflexivo precoce nas crianças porque ela escreve ou desenha algo para lembrar qual é o objetivo, e lê a meta principal antes de iniciar cada atividade da próxima semana (*Ibid.*, p. 23, tradução nossa).

Além disso, após todos os processos, o professor realiza uma conferência individual com cada aluno para discutir a efetividade das estratégias de aprendizado, o progresso da criança naquele objetivo preparado para a semana correspondente e o objetivo para a próxima semana (*Ibid.*).

Além destes dois tipos de planejamento, o jogo “*Freeze*” (congelar, em tradução) é outra atividade para autorregulação na qual as crianças conseguem avaliar e monitorar a si mesmos. O jogo consiste em tocar uma música e dançar. Quando a música para, o professor mostra uma figura de palitinhos que representa uma posição corporal que as crianças precisam imitar, congeladas naquela posição.

Conforme o ano passa, o jogo tem dificuldades maiores e passos adicionais, como quando o professor apresenta mais de uma figura de palitinhos, com cores de fundo diferentes indicando, pela cor, qual deles a criança irá imitar a posição. Portanto, nessa atividade é necessário também exercer o controle inibitório, assim como se adaptar às regras do jogo que se alteram (*Ibid.*).

O currículo *Tools* também tem atividades que desenvolvem a autorregulação em conjunto com os conteúdos acadêmicos escolares, como o “*Buddy Reading*” (Amigo de leitura), uma atividade na qual as crianças são separadas em duplas, na função de leitor e ouvinte e necessitam esperar seus turnos de fala ou escuta. Assim, desenvolvendo, além da autorregulação pela alternância dos turnos, a habilidade de leitura (*Ibid.*).

Já no “*The numerals game*” (Jogo dos numerais), o conteúdo promovido é a matemática. A atividade ocorre em formato semelhante ao “Amigo de leitura”, pois as crianças alternam o papel entre contar e conferir operações matemáticas. Além das duas anteriores, a atividade “*Scaffolded writing*” (Escrita assistida) consiste em planejar o que será escrito antes de escrever, de maneira a desenhar uma linha para cada palavra planejada. Assim, a “Escrita Assistida” desenvolve habilidades de planejamento e avalia a escrita (*Ibid.*).

O outro currículo citado por Diamond e Lee (2011) para melhoria das funções executivas é o Montessoriano. Este currículo não menciona as funções executivas diretamente, mas o conceito de “normalização”, que compõe o currículo, significa, de modo simplificado, a passagem da impulsividade e desatenção para a autodisciplina, independência e ordem. Nesse sentido, para que essas habilidades sejam desenvolvidas, as FEs se fazem presentes (DIAMOND; LEE, 2011).

Em vários aspectos, a pedagogia Montessori contribui para aprimorar as funções executivas em crianças. Costuma-se trabalhar em pequenos grupos e ter apenas um material de cada tipo para que as crianças aprendam a esperar umas às outras terminarem, exercitando as FEs. Além disso, crianças de diferentes faixas etárias auxiliam no aprendizado uma das outras, em monitorias, produzindo resultados radicalmente melhores do que quando o ensino era apenas conduzido por professores (*Ibid.*).

Em cinco anos de escola Montessori, os alunos demonstraram melhor desenvolvimento das funções executivas, melhor compreensão em matemática, leitura e maior senso de equidade e justiça do que crianças de outras instituições. Aos

12 demonstraram mais criatividade na escrita de redações e mais senso de comunidade na escola (*Ibid.*).

No Brasil, apenas um programa de promoção de funções executivas foi elaborado e testado. O Programa de Intervenção em Autorregulação e Funções Executivas (PIAFex) foi desenvolvido pela psicóloga Natália Dias, em 2013, durante seus estudos do doutorado no Programa de Pós-Graduação da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Em sua tese, Dias descreve o processo de elaboração do programa, que contou com uma fase de fundamentação teórica para estudos dos programas já existentes, uma busca por suporte empírico e reuniões com pedagogos. Logo após, a autora se ocupou em selecionar e adaptar atividades e criar novas. A proposta de Dias passou por uma avaliação de juízes (psicólogas e pedagogas) e uma revisão, por fim chegando à versão final do programa.

De acordo com a autora desenvolvedora, o PIAFex pode ser considerado um programa curricular complementar que tem por objetivo a execução de uma prática intencionada por meio de interações educativas que exercitem as funções executivas. O programa consiste em um manual prático que possui 43 atividades em 10 módulos para ser utilizado, preferencialmente, pelo professor em sala de aula, mas também em contexto clínico (DIAS, 2013).

As atividades do programa proporcionam o engajamento de habilidades executivas em uma série de situações e contextos, proporcionando oportunidades para que a criança possa praticá-las e, desse modo, possa aprender a utilizá-las na organização de seu comportamento, no planejamento de tarefas e na resolução de problemas do dia a dia (DIAS; SEABRA, 2013, p. 211).

Quatro elementos essenciais constituem o PIAFex: o primeiro aspecto é a interação professor-aluno/classe, a qual deve se priorizar a comunicação e os questionamentos afim de promover a autorregulação e autonomia da criança, ao contrário de apenas introduzir os conteúdos e intervenção. Em segundo lugar, o incentivo aos mediadores externos, como objetos, figuras ou acessórios que amparem o aluno durante as atividades, pois eles se constituem como uma ferramenta para a criança cumprir tarefas que, na ausência deste instrumento, não conseguiria obter êxito. O terceiro aspecto é a fala privada, que consiste na repetição, por parte da criança, em voz alta ou para si mesma, das instruções de uma determinada tarefa, para lembrar ou organizar. Por fim, tem-se o incentivo à heterorregulação, que

corresponde ao ato de uma criança regular o comportamento de outra de maneira a incentivá-lo, lembrando da tarefa e das instruções, pois “estimular e exercitar processos de heterorregulação são importantes, uma vez que eles precedem a autorregulação” (DIAS, 2013, p. 117).

Para a investigação da eficácia do PIAFex, participaram da pesquisa 172 crianças com média de idade de 5,6 anos. Os instrumentos de avaliação foram: Teste de Trilhas para pré-escolares, Teste de Stroop Semântico, Simon Task, Inventário de Funcionamento Executivo Infantil, Teste de Vocabulário por Imagens Peabody, Escala de Maturidade Mental Colúmbia, questionário aos pais, questionários aos professores e entrevista semiestruturada com professores. A partir destas ferramentas, verificou-se, com as análises dos resultados, que as crianças que participaram da intervenção obtiveram uma melhora em suas funções executivas do que o grupo controle, além disso, apresentaram comportamento mais adaptativo em contextos diversos (*Ibid.*).

Existem, ainda, programas complementares ao currículo com estratégias direcionadas à professores. O *Promoting Alternative Thinking Strategies* (PATHS) é um programa de treinamento dirigido para professores com o objetivo de produzir em seus alunos maiores aptidões relacionadas às funções executivas, como solução de problemas interpessoais, gerenciamento de emoções e autocontrole. É um importante reconhecimento para os professores porque crianças experienciam emoções mesmo antes de serem capazes de se comunicar por meio da linguagem verbal e podem reagir de forma impulsiva ou sem controle quando entram em contato com suas emoções. Neste programa, os professores são conduzidos a ensinarem os alunos a repetirem alguns passos para se expressarem melhor, como parar, respirar fundo, identificar o problema, verbalizar seus sentimentos e consolidar um plano de ação. Evidências demonstram que após o treinamento dos professores e um ano de convivência dos alunos com estes profissionais, crianças de 7 a 9 anos de idade apresentaram uma melhora no controle inibitório e na flexibilidade cognitiva (DIAMOND; LEE, 2011).

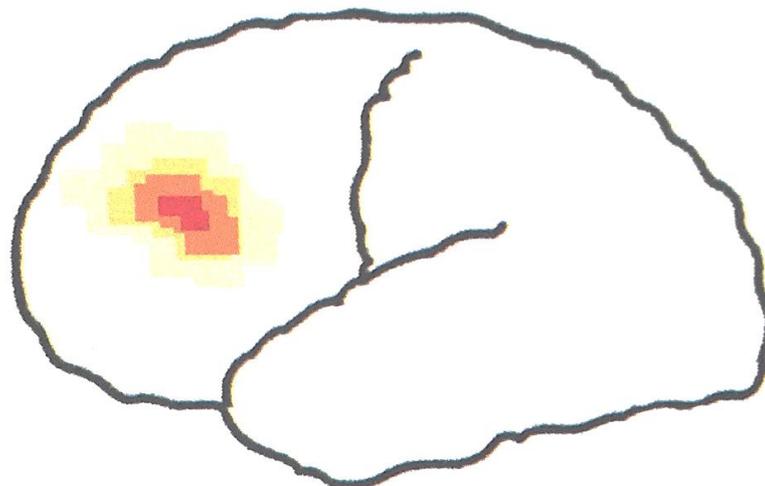
Além do PATHS, o *Chicago School Readiness Project* (CSR) também se caracteriza por ser um treinamento para professores. Esse projeto atua na gestão do comportamento com sugestões para reduzir o estresse, privilegiando um amadurecimento de estratégias de habilidades verbais para regulação emocional. Como resultado, o programa apresentou melhor administração das salas de aula e um apoio emocional maior aos alunos do que outros professores costumam estar

preparados para dar. Ao longo do ano letivo, em crianças de 4 anos de idade guiadas por professores participantes do projeto, os alunos foram capazes de aprimorar o vocabulário, as habilidades matemáticas, nomeação de letras e melhoria nas FEs, como um todo (*Ibid.*).

Além disso, em sala de aula, é importante considerar as emoções dos alunos. Um sentimento negativo que pode ser criado dentro das classes é a sensação que a criança possa ter de não ser inteligente o suficiente. Esse sentimento passa a ser uma grande fonte de estresse. Assim, é importante relacionar as tentativas dos alunos com sentimento positivos, mesmo que hajam erros. O professor, ao expressar claramente que acredita no sucesso de cada criança, pois o aluno não consegue se sentir bem em situações as quais, talvez, alguém possa envergonhá-lo por cometer algum erro. Ao encorajar a criança, fazemos com que haja uma maior sensação de segurança e confiabilidade na relação professor-aluno, conseqüentemente diminuindo o estresse daquele ambiente (CIÊNCIAS E COGNIÇÃO, 2021).

Ademais, uma vez que as funções executivas são altamente afetadas pelo estresse, para sua redução, uma boa estratégia é expressar sentimentos por meio de palavras. Desta forma, ocorrerá uma maior ativação do córtex pré-frontal (**Imagem 16**) que reduz a ativação da amígdala, uma estrutura cerebral que se torna ativa quando o cérebro pressente perigo ou medo (*Ibid.*).

Imagem 16 – Ativação do córtex pré-frontal



Fonte: BRANDÃO, 2004.

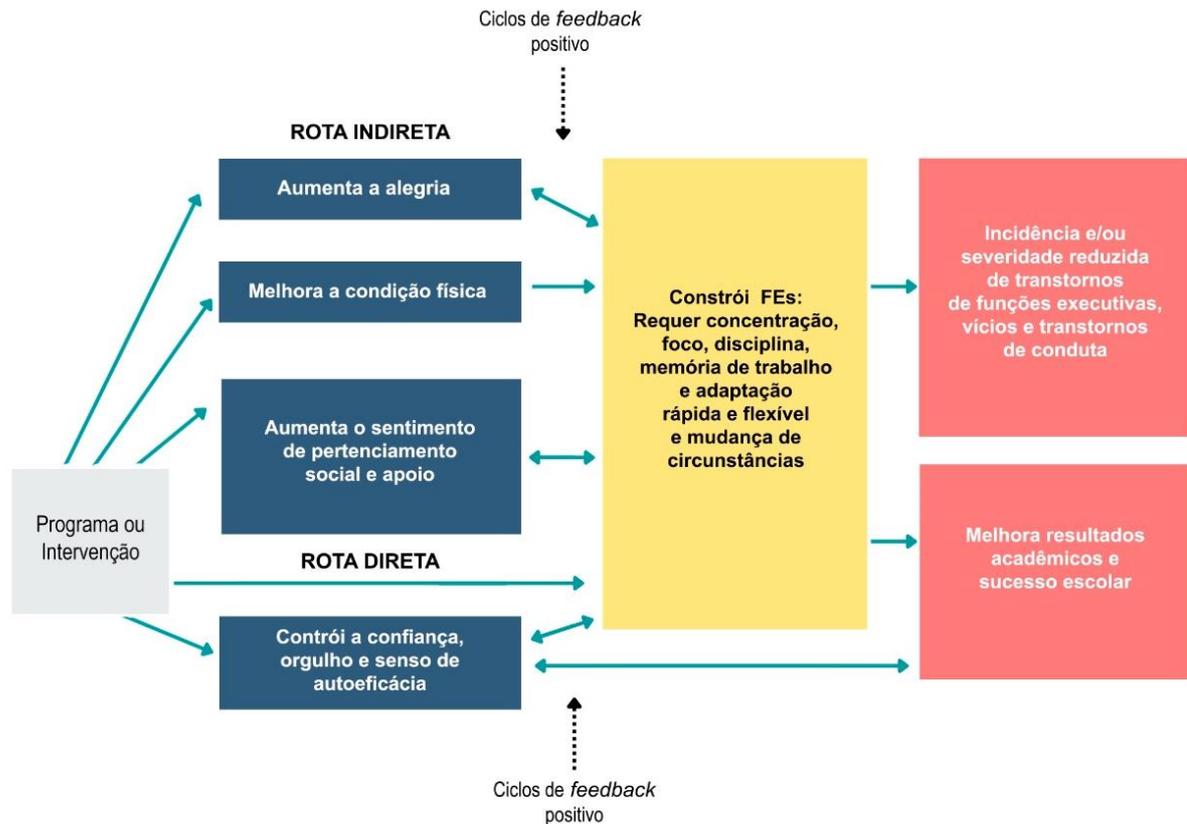
Outra forma, comum e eficaz, de melhorar as FEs, principalmente a atenção seletiva e memória operacional, é a contação de histórias, ouvir e contar. Nesse aspecto, esse recurso pedagógico é valioso porque requer o foco da atenção por longos períodos. Ademais, a criança precisa manter em mente o que já ocorreu na história, quais são os personagens e outros detalhes acerca do que ouviu (*Ibid.*). Assim, Diamond e Lee (2011), afirmam:

As melhores abordagens para melhorar as funções executivas e resultados escolares provavelmente são aqueles que (a) envolvem os interesses, com paixão, dos alunos, trazendo-lhes alegria e orgulho, (b) abordar tensões na vida dos alunos, tentando resolver as causas externas e fortalecer respostas mais calmas e saudáveis, (c) fazer os alunos se exercitarem vigorosamente e (d) dar aos alunos um sentimento pertencimento e aceitação social, além de dar aos alunos oportunidades de praticar as funções executivas repetidamente em níveis progressivamente mais avançados. A maneira mais eficaz de melhorar FEs e desempenho acadêmico provavelmente não é focar apenas nelas mesmas, mas também abordar o desenvolvimento emocional e social das crianças (p. 7).

O que corrobora com as pesquisas neurocientíficas que demonstram que a motivação é um fator que está intrinsecamente relacionado com o aprendizado (DI DOMENICO, 2017), enquanto que o estresse está associado a um prejuízo nas tarefas cerebrais que envolvem a memória, alterando até mesmo a plasticidade sináptica e a morfologia dos neurônios, trazendo consequências negativas ao aprendizado e na formação da memória de longo prazo (YARIBEYGI *et al.*, 2017; KIM *et al.*, 2015).

No diagrama a seguir (**Imagem 17**) podemos perceber que existem rotas diretas e indiretas para melhorar a proficiência das FEs a partir de programas ou intervenções. A área do córtex pre-frontal cerebral é primeira a sofrer quando nos sentimos estressados, tristes, solitários ou mesmo sem uma condição física adequada, portanto, como afirma Diamond (2012), “[...] quando as pessoas estão menos estressadas, mais felizes, mais aptas fisicamente e socialmente amparadas, elas conseguem pensar com mais clareza e criatividade e exercer melhor seu auto-controle e disciplina” (p. 339, tradução nossa).

Imagem 17 - Diagrama da melhora na proficiência das FEs por meio de programas ou intervenções



Fonte: Adaptado e traduzido de Diamond pelas autoras, 2012.

Nesse sentido, há uma via de duplo sentido positivo, pois a medida em que a criança se sente mais feliz, amparada e em melhores condições físicas, as funções executivas serão melhoradas. A via inversa também é uma realidade: conforme as FEs melhoram, também aumentam-se os fatores inclusos nas rotas diretas e indiretas, produzindo como consequência melhores resultados escolares e diminuindo a ocorrência de desvios de conduta ou transtornos de funções executivas (*Ibid.*).

Em conclusão, podemos observar que há diversas estratégias que podem ser introduzidas no cotidiano escolar e na prática do professor. O trabalho de desenvolvimento e treinamento das funções executivas no ambiente escolar pode ser a diferença crucial entre o sucesso e o insucesso acadêmico posterior, por menos que estas habilidades estejam envolvidas, diretamente, com os conteúdos escolares em si.

3.2.2 Avaliação das funções executivas

A avaliação das FEs se configura como um desafio, mesmo após anos de pesquisas. Segundo Carim, Miranda e Bueno (2012), a avaliação das funções executivas inicialmente contavam com instrumentos laboratoriais, como o Teste de Categorização de Cartas de Winsconsin (WCST). Entretanto, torna-se especialmente difícil transferir os resultados mensurados nos testes e compará-los ao comportamento humano em situações reais e cotidianas.

Nos testes neuropsicológicos, a própria organização e direcionamento da avaliação pode fazer com que agentes externos interfiram na resposta do indivíduo uma vez que, frequentemente, o instrutor fornece pistas por meio das instruções da avaliação de forma a sugerir o que configura o comportamento ideal diante do teste, o que não correria frente à uma situação na vida real (*Ibid.*).

Apesar dos obstáculos, existem diversas avaliações neuropsicológicas aprovadas para a avaliação das FEs, assim, de acordo com Seabra e Dias (2012):

A avaliação neuropsicológica é um método para se examinar o encéfalo por meio do estudo de seu produto comportamental. Amparada na neuropsicologia cognitiva, a avaliação busca suplantar a quantificação e a descrição do desempenho da pessoa avaliada, visando à interpretação dos processos e estruturas subjacente ao seu desempenho. Nesse sentido, é essencial não somente para tomar decisões diagnósticas, mas também para desenvolver programas de reabilitação (p. 20).

Um dos maiores diferenciais das avaliações neuropsicológicas está na aplicação em crianças, uma vez que a identificação precoce de transtornos do aprendizado evita que intervenções sejam feitas tardiamente, prejudicando o desenvolvimento. No caso específico das funções executivas, existem diversas avaliações neuropsicológicas que possibilitam essa análise. Apesar da diversidade de testes, no entanto, muitos deles ainda não possuem tradução ao português ou estudos que comprovem sua eficácia quando transpostas à realidade brasileira, de modo a impedir sua aplicação no país (*Ibid.*).

É importante considerar as características individuais dos pacientes submetidos aos testes. Para tanto, sugere-se que sejam realizados exames quantitativos e qualitativos, atendendo às necessidades de cada caso em particular. A avaliação das FEs possuem uma especificidade, uma vez que a avaliação para as FEs simples (centrais) são diferentes das avaliações disponíveis para FEs complexas (*Ibid.*).

Para as centrais, podemos listar o Teste de Stroop, Teste de Geração Semântica, Teste de Dígitos em ordem reversa ou blocos de Corsi e Teste de Trilhas B. Já para a avaliação de FEs complexas, temos o Teste de Categorização de Cartas de Winsconsin, Teste de Torres de Hanoi e Teste de Fluência Verbal (*Ibid.*).

3.2.2.1 Avaliação de Funções Executivas centrais

O Teste de Stroop é uma avaliação para a atenção seletiva, ou seja, a habilidade de inibição de informações que não são relevantes naquele contexto (CASTRO; CUNHA; MARTINS, 2009). Foi desenvolvida por Stroop, em 1935 e sua versão inicial foi modificada inúmeras vezes, diferindo entre versões que possuem números diferentes de cartões, cores e itens, além de variações a lápis e papel ou computadorizadas (CHARCHAT-FICHMAN; OLIVEIRA, 2009).

O mecanismo do teste consiste em apresentar palavras que nomeiam cores impressas em uma cor diferente da palavra escrita, portanto, há de se inibir um estímulo específico para focar sua atenção em outro, assim, avalia-se a flexibilidade cognitiva, mensurando a capacidade de deslocar a atenção de acordo com demandas específicas (CASTRO; CUNHA; MARTINS, 2009).

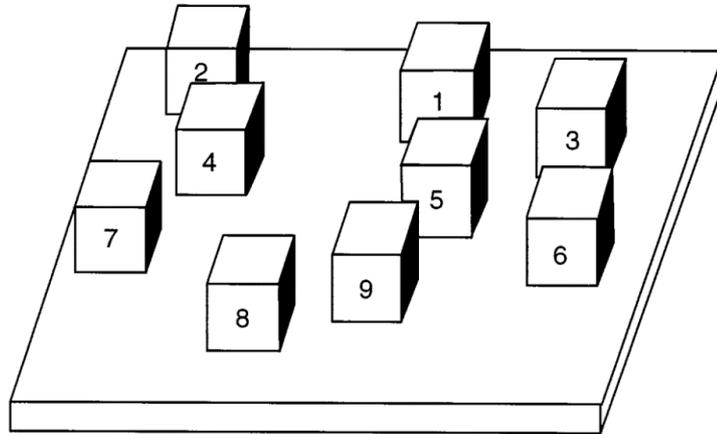
De acordo com a pesquisa conduzida por Homack e Riccio (2004), crianças e adolescentes com transtorno de déficit de atenção e hiperatividade tiveram maior dificuldade no Teste de Stroop quando comparados à indivíduos sem o diagnóstico clínico de TDAH. Entretanto, os autores relatam que apenas o mal desempenho no teste não qualifica o diagnóstico para o transtorno.

O Teste de Geração Semântica foi desenvolvido a partir dos estudos de Thompson-Schill *et al.* (1997, 1998). Inicialmente, eram separados 96 substantivos, assim, o objetivo do teste é que ao observar o substantivo, o sujeito seja capaz de evocar o verbo que corresponde à palavra, sem limite de tempo para o fornecimento das respostas (ASSEF; CAPOVILLA; CAPOVILLA, 2007). Atualmente, existem versões do teste com ajustes, como as adaptadas para crianças, que pressupõem a utilização de figuras ao invés de substantivos escritos (THOMPSON-SCHILL *et al.*, 1997, 1998).

Já o Teste de Dígitos em Ordem Reversa ou Blocos de Corsi (**Imagem 18**) é um teste que avalia memória operacional. Este teste consiste na apresentação de um tabuleiro que contém 10 blocos. Desta forma, o aplicador toca com os dedos os

blocos, no mínimo 2 e no máximo 8, em uma determinada ordem e a criança deverá fazer o mesmo (SILVA; SANTOS, 2011).

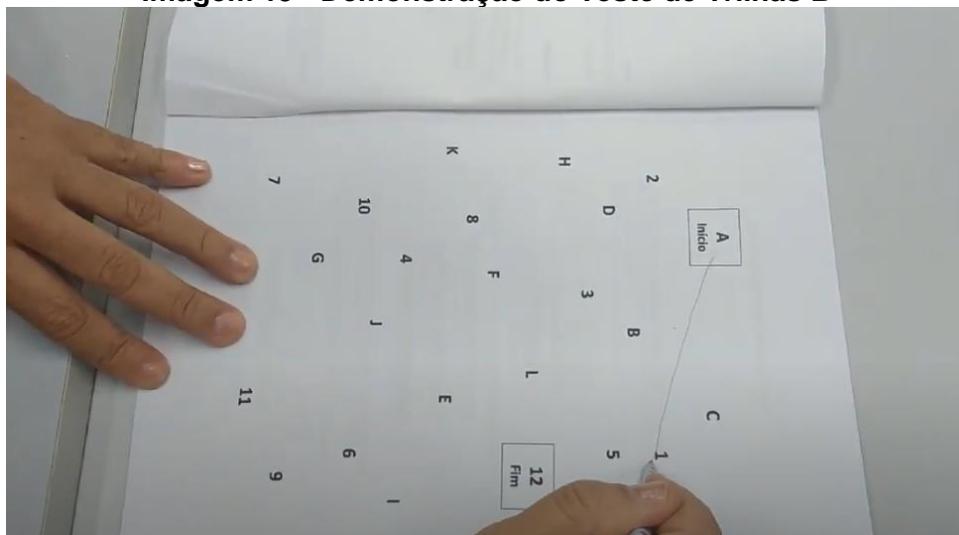
Imagem 18 - Blocos de corsi na visão do examinador



Fonte: BERCH; KRIKORIAN; HUHA, 1998.

Por último, o Teste de trilhas B (**Imagem 19**) faz parte da dupla de testes de trilha A e B, cujo público alvo são crianças e adolescentes dos 6 aos 14 anos de idade e tem por objetivo avaliar a flexibilidade cognitiva. O teste consiste na distribuição de uma folha com números de 1 ao 12 e letras, de A a L, o aluno deverá traçar uma linha que conecte de maneira alternada as letras e números, iniciando pela letra A e finalizando no número 12. O instrutor cronometra um minuto para que a atividade proposta seja realizada e instrui a criança a cumprir o objetivo o mais rápido que puder (SEABRA; DIAS, 2012).

Imagem 19 - Demonstração do Teste de Trilhas B



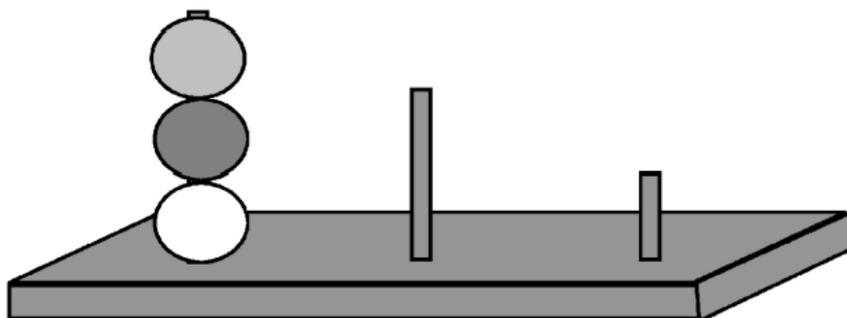
Fonte: COGNITIVE GROUP BRASIL, 2020.

3.2.2.2 Avaliação de Funções Executivas complexas

A avaliação de FEs complexas consistem em avaliações que compreendem mais de um fator ao mesmo tempo (SEABRA; DIAS, 2012), como o Teste de Categorização de Cartas de Winsconsin. O WCST é um teste de aplicação restrita à psicólogos. Desenvolvido em 1948, este teste auxilia a avaliação do raciocínio abstrato e constitui-se de dois baralhos com 64 cartas cada que representam cores, formas e números. Quatro cartas serão dispostas na frente do indivíduo a ser avaliado, o aplicado explica que é necessário retirar uma carta do baralho e formar associação com uma das quatro dispostas na mesa. Em seguida, após dez acertos consecutivos, o aplicador passará para as cartas de forma e posteriormente de números de maneira a anotar as respostas para calcular o escore (MIGUEL, 2005).

O Teste de Torres de Londres (**Imagem 20**) é um teste de aplicação individual, com público-alvo de crianças e adolescentes de 11 a 14 anos de idade. Para aplicação é necessário uma torre e esferas confeccionadas de acordo com as medidas padronizadas exigidas, o caderno de aplicação com as 12 figuras, que determinam a posição final das esferas e número de movimentos, e cronômetro para registro do tempo de planejamento (SEABRA; DIAS, 2012).

Imagem 20 - Torre de Londres

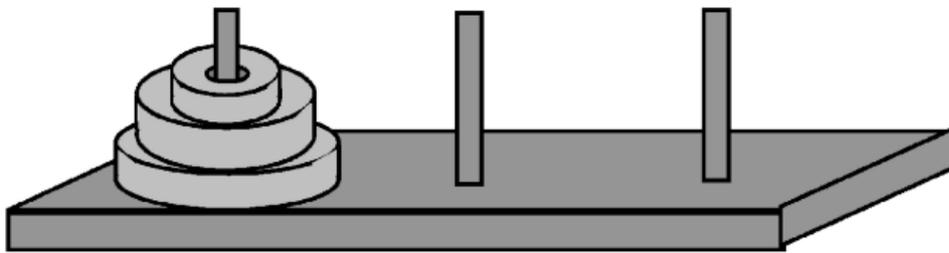


Fonte: BERG; BYRD, 2002.

O aplicador apresenta o objeto e instrui que o objetivo do teste é movimentar as esferas da posição inicial, que sempre é a mesma, para a posição das figuras indicadas pelo aplicador de acordo com três regras: respeite sempre a quantidade de esferas que cabem em cada haste, mexa apenas uma esfera por vez e respeite o número de movimentos indicado pela figura da posição final das esferas (*Ibid.*).

Ainda, há o Teste de Torres de Hanói (ToH). Esta avaliação observa-se a habilidade de planejamento, tendo em vista um objetivo proposto no início. A ToH (**Imagem 21**) possui três hastes e diversos aros de cores e diâmetros diferentes que podem ser encaixados nas hastes. O objetivo é mover os aros que, inicialmente, estão na haste da esquerda em tamanho decrescente, para a haste da direita, movimentando uma peça por vez e respeitando a regra dos aros maiores embaixo dos menores. Assim, é necessário que o indivíduo planeje e execute uma sequência organizada para atingir o objetivo do teste (SANT'ANNA *et al.*, 2007).

Imagem 21 - Torre de Hanoi (ToH)



Fonte: BERG; BYRD, 2002.

Já o Teste de Fluência Verbal avalia a competência da memória semântica e linguagem, podendo ser utilizado em conjunto com outros testes para uma avaliação neuropsicológica ou isolado (BRUCKI *et al.*, 1997; RODRIGUES; YAMASHITA; CHIAPPETTA, 2008). Nesse sentido, o teste se propõe a avaliar a capacidade de recuperação de memórias do indivíduo e funções executivas, como organização e processamento dos pensamentos e flexibilidade cognitiva.

Desse modo, a avaliação busca que o indivíduo se recorde do maior número de palavras possíveis em um determinado período de tempo. Na versão fonológica do teste, o instrutor pede o resgate de palavras que se iniciem com determinadas letras e a versão por categoria ou semântica, determina classes, como “objeto” ou “animal”, por exemplo (RODRIGUES, YAMASHITA, CHIAPPETTA, 2008).

Além dos mencionados acima, existem os chamados testes ecológicos cujo objetivo é se aproximar de uma avaliação que envolvem tarefas do cotidiano (SEABRA; DIAS, 2012). Como exemplo, temos o *Behavior Rating Inventory of Executive Functions* (BRIEF), que foi desenvolvido por Gioia, Isquith, Guy e Kenworthy, no ano 2000 e adaptada e traduzida para o português do Brasil em 2012

(CARIM, MIRANDA, BUENO, 2012). O BRIEF se trata de um questionário para crianças, adolescentes com idades de 5 a 18 anos, pais e professores que se propõe a avaliar as funções executivas.

O teste possui três versões: a de auto-relato que se constitui de 80 questões a respeito de sua percepção em relação ao ambiente, preenchida pelo próprio indivíduo, que contempla as idades de 11 a 18 anos e outras que foram formuladas especificamente para pais e professores, com 86 questões que contemplam os comportamentos relacionados as funções executivas em casa e na escola, respectivamente, dirigida para avaliar crianças e adolescentes. As questões são formuladas de maneira a oferecer opções em escala, como nunca, algumas vezes e frequentemente. As respostas tem a capacidade de aferir as funções executivas, bem como índices para metacognição e regulação do comportamento (CARIM *et al.*, 2012; GIOIA *et al.*, 2000).

Assim, as avaliações neuropsicológicas se constituem como um instrumento essencial para a avaliação de funções executivas, principalmente em crianças. Os testes podem ser conduzidos por profissionais da educação com o objetivo não de diagnosticar clinicamente, mas avaliar o desempenho dos alunos e buscar por soluções que sejam coerentes com a realidade da escola e do profissional.

Por fim, diante desta revisão que demonstrou os aspectos essenciais das funções executivas, sua importância, intervenções práticas e avaliação, continuaremos esta dissertação no terceiro capítulo que irá apresentar os resultados da revisão de literatura e os tópicos que emergiram durante a pesquisa, bem como uma análise reflexiva das convergências entre as neurociências e a educação e de sua relevância para a prática pedagógica.

4 NEUROCIÊNCIAS: UM TEMA EMERGENTE

A presente pesquisa utilizou-se de uma revisão bibliográfica como metodologia, devido às dificuldades de ir a campo nos anos que decorreram da pandemia de COVID-19. Durante a revisão, priorizou-se dar ênfase ao que era recorrente na literatura, no que as publicações evidenciavam como significativo à temática. Nesse sentido, destacamos no estudo trabalhos de maior impacto considerando o qualis CAPES e o fator JCR (Journal Citation Reports) do periódico, incluso como principal métrica o número de citações. Portanto, neste capítulo iremos debater sobre os principais achados da revisão bibliográfica que fundamentou esta dissertação.

No início deste trabalho, preocupamo-nos em compreender quais eram as contribuições das neurociências para a educação, pois imaginava-se que seriam contribuições passíveis a serem listadas e compreendidas em suas múltiplas dimensões. Entretanto, em meio a tantos achados na revisão bibliográfica, tornou-se um desafio enumerar um a um de forma a explicá-los detalhadamente. Desta forma, buscamos focar em um dos assuntos que emergiam com frequência nas pesquisas em neurociência educacional: as funções executivas. As FEs foram abordadas no capítulo dois desta dissertação, onde incluímos o que são, as principais noções teóricas, qual sua relevância para a prática pedagógica, como são avaliadas e intervenções pedagógicas para uma maior proficiência nas funções executivas em crianças.

Assim, o presente capítulo se estende levando em consideração todas as publicações analisadas, propondo um debate a respeito da dificuldade em integrar a educação com as neurociências e o papel do professor nas pesquisas de neurociência educacional, obtida de observações que emergiram como consequência das leituras neste período.

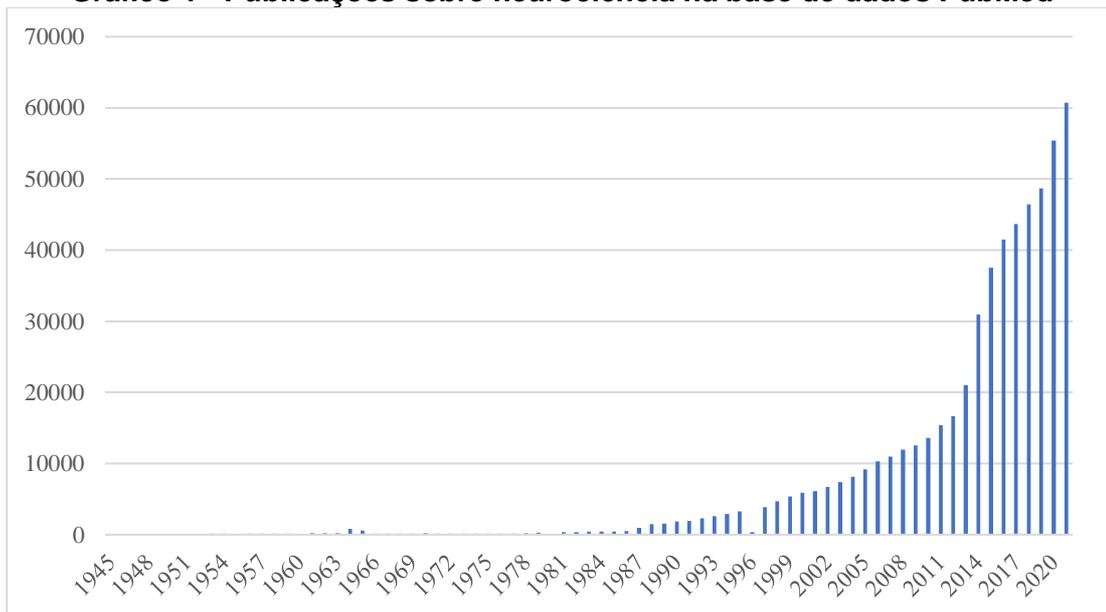
A década de 90, conhecida como a “década do cérebro”, foi expressiva para os estudos neurocientíficos, já que muitas descobertas se tornaram possíveis por meio dos exames de imagens os quais tornaram possível avaliar a função cerebral de modo menos invasivo (LENT, 2010).

Durante a pesquisa, comprovou-se que as neurociências foram um assunto emergente naquela década, pois ao avaliarmos as bases de dados e a quantidade de publicações correspondentes à década, observamos um salto de crescimento

expressivo quando comparado as décadas anteriores. Para tal comprovação, utilizamos a base de dados PubMed como referência para compreender o crescimento das pesquisas, em uma busca sem filtros com a palavra-chave “neuroscience”. O domínio é internacional e pertence à base de dados Medline, ofertado pela Biblioteca Nacional de Medicina dos Estados Unidos atuante desde 1966, apesar de possuir dados a respeito das neurociências desde o ano de 1945.

Ao observarmos este crescimento nos anos 1900, nota-se que após o ano 2000 a quantidade de trabalhos foi ainda maior, principalmente nos últimos dez anos, pois houve um aumento de mais de 40 mil trabalhos publicados. No Gráfico 2 é possível observar o crescimento de 217% na década de 90. Em contrapartida, também é possível observar que o tema está em constante pesquisa, apresentando um crescimento contínuo e cada vez mais expressivo em relação à números de pesquisas publicadas.

Gráfico 1 - Publicações sobre neurociência na base de dados PubMed



Fonte: Elaboração da autora, 2022.

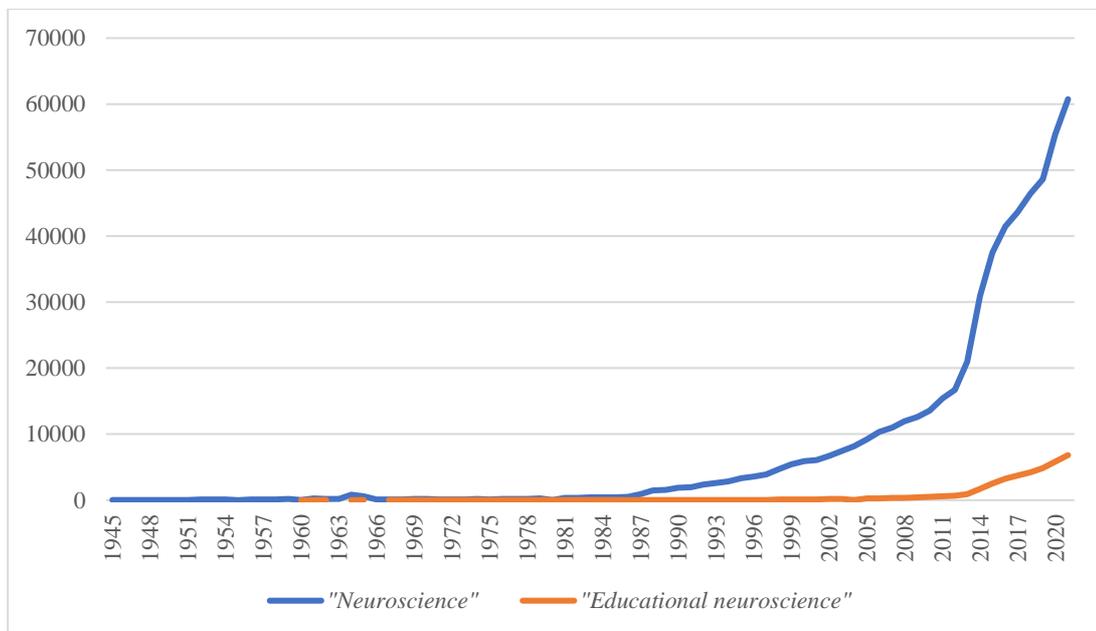
Em igual medida, observa-se também o aumento do estudo das neurociências e suas contribuições para a educação, momento em que a neurociência educacional se constitui como um tema concernente à educação, tornando-se alvo de mais pesquisas.

Apesar de já se verificar estudos que relacionam as neurociências com a aprendizagem e o contexto escolar a partir do ano de 1947, o aumento expressivo do estudo ocorre na última década. Constatamos que, embora o cérebro seja

reconhecido como o órgão da aprendizagem, a educação permanece fora dos debates do tema por muitos anos.

Realizamos uma busca para fins de comparação nas bases de dados PubMed, predominantemente possuindo publicações nas áreas das ciências médicas, e ERIC com publicações exclusivas nas ciências da educação. Ao utilizar o termo “educational neuroscience” (o equivalente à neurociência educacional), verifica-se que a quantidade de publicações a respeito do tema apenas decolou em torno do ano de 2010, enquanto que os números para a neurociência escalam já nos últimos anos do século XX, como demonstra o Gráfico 2.

Gráfico 2 – Comparação de publicações na área de neurociências e neurociência educacional na base de dados PubMed a partir do ano de 1945.



Fonte: Elaboração da autora, 2022.

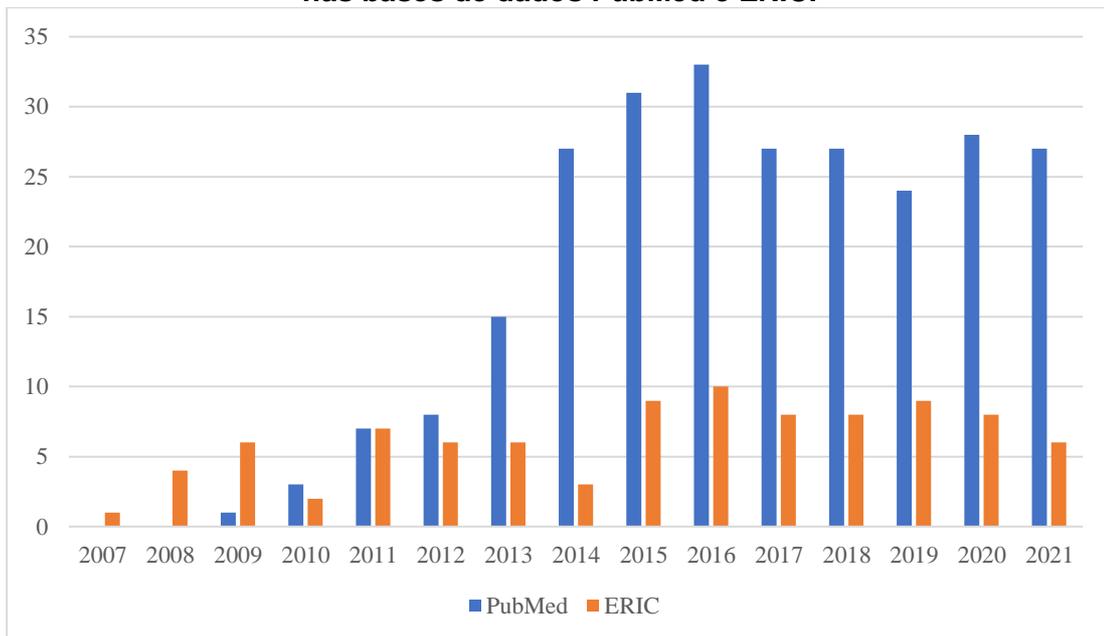
Não obstante, a neurociência educacional parece ter um crescimento mais evidente e acentuado quando comparado ao crescimento das neurociências na década de 90, o que evidencia não só que estamos vivenciando um aumento nos estudos e pesquisas, mas que o tema tem sido mais relevante para a educação a partir do ano de 2010 do que a neurociência parece ter sido durante seus anos de emergência.

Este fenômeno pode ser interpretado como uma colaboração tardia das neurociências às ciências da educação, visto que mais de vinte anos se decorreram

para que estes estudos se iniciem com maior interesse por parte da comunidade científica. Além disso, é possível constatar que a maioria dos estudos publicados na PubMed são pesquisas realizadas por neurologistas, psiquiatras e psicólogos e publicados em periódicos das ciências médicas ou psicologia. Em comparação, mesmo as publicações na área da educação, como é o caso da base de dados ERIC, os textos acadêmicos referem-se à neurociência educacional como sendo uma discussão entre neurocientistas e psicólogos, raramente incluindo professores.

As publicações na área da educação são menos expressivas, em quantidade, quando comparado com as áreas médicas e psicológicas. O PubMed possui, para as palavras-chaves “educational neuroscience”, cerca de 228 resultados para o termo de busca desde 2009. Em contrapartida, na ERIC, base na qual os periódicos são, em sua maioria, do campo da educação, encontramos apenas 96 resultados, a partir do ano de 2006, conforme **Gráfico 3**.

Gráfico 3 - Número de publicações para a palavra-chave "educational neuroscience" nas bases de dados PubMed e ERIC.



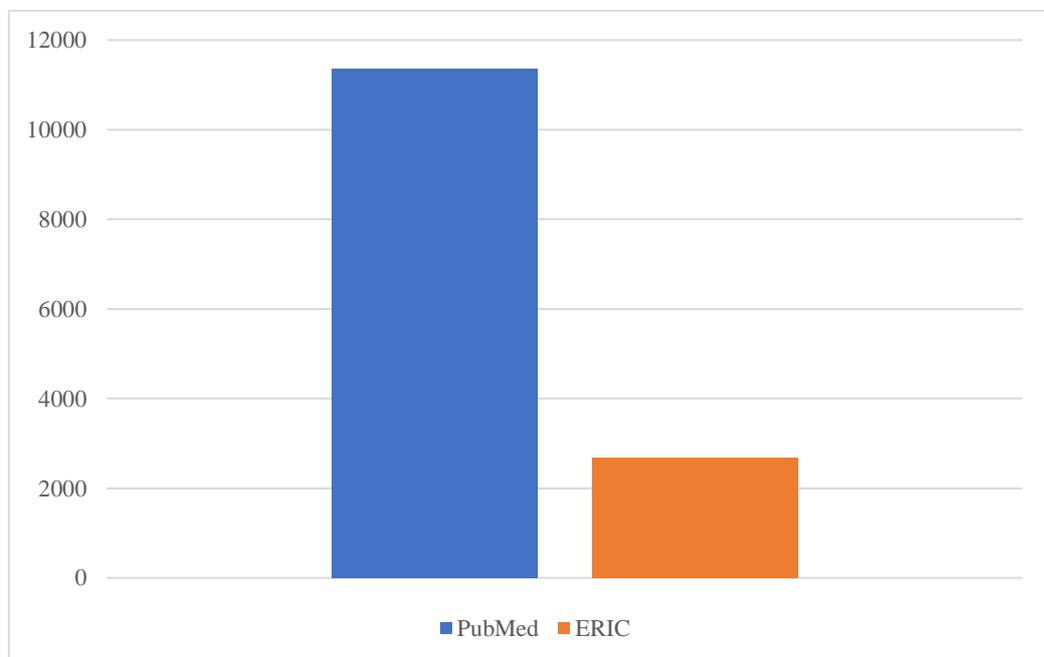
Fonte: Elaboração da autora, 2022.

Como podemos observar no gráfico acima, as publicações na área da educação surgem dois anos antes do que nas áreas das ciências médicas e psicológicas, entretanto, a partir de sua manifestação inicial, a base de dados PubMed continua predominante em número de publicações associadas ao termo “neurociência educacional”.

Esses dados confirmam o que foi observado durante o período de pesquisa bibliográfica em inúmeras bases de dados: irrevogavelmente, as áreas médicas e psicológicas são predominantes nos estudos a respeito de aprendizagem e as neurociências.

O mesmo ocorre quando buscamos resultados para as funções executivas. Para a palavra-chave “executive functions”, a base de dados PubMed apresenta mais de 10 mil resultados, enquanto o ERIC apenas pouco mais de 2 mil (Gráfico 4). Entretanto, no caso das palavras-chave para funções executivas, existe uma diferença em relação à neurociência educacional que é primordial para compreendermos os números expressos no gráfico abaixo: as funções executivas não são unicamente desenvolvidas no contexto escolar e estudadas na infância. O estudo das funções executivas é muito expressivo na área da saúde, principalmente no campo da neurologia, o qual avalia as funções cerebrais de uma perspectiva puramente biológica. Desta forma, compreende-se que os resultados desta busca, isolados, não expressam necessariamente uma disparidade nos estudos em áreas diferentes.

Gráfico 4 - Número de publicações para o termo "funções executivas"



Fonte: Elaboração da autora, 2022.

4.1 NEUROCIÊNCIAS NAS PESQUISAS DA EDUCAÇÃO

A partir do que se mostrou aparente nas buscas e leituras, podemos analisar que as pesquisas na área da educação a respeito das neurociências educacionais ainda são escassas. Deparamo-nos, muitas vezes, com propostas de análise, intervenção com alunos ou proposições pedagógicas para o cotidiano do professor que foram elaboradas por médicos ou psicológicos exclusivamente ou apenas avaliadas por professores. Entretanto, os professores tem a condição de realizar, também, proposições para a prática pedagógica, se utilizando do apoio de médicos e psicólogos.

O inverso já ocorre há anos. Assim como médicos e psicólogos não estudam diretamente os processos de ensino-aprendizagem, os professores talvez não estudem diretamente as neurociências e conteúdos neurobiológicos, portanto, desta forma, não sendo estes aspectos impeditivos para estes profissionais, também não deveriam ser aos professores. Nesse sentido, concluímos que os pedagogos seriam os profissionais mais indicados para esta tarefa, uma vez que o contexto central é o escolar, não o clínico.

Mesmo que o professor não se configure como um especialista na psicologia educacional, no desenvolvimento infantil biológico ou neurociências, é preciso salientar que o debate transdisciplinar é somente possível quando o diálogo entre estas áreas compromete-se a ser realizado de forma ativa, sem dispensar a importância de um ou outro profissional.

Em seu livro “O cérebro aprendiz: neuroplasticidade e educação” (2019), Lent menciona que as neurociências aplicadas à educação são um debate caloroso entre neurocientistas e psicólogos, no qual os neurocientistas defendem os benefícios e os psicólogos argumentam que sem a ponte posta pelo campo da psicologia, não há como unir as duas áreas de estudo. Lent não menciona, neste momento, as contribuições dos docentes.

Afirma, ainda, que não se trata de uma disputa entre profissionais para realizar contribuições, denominando-a de “polêmica territorial”. Mesmo que se trate, em alguma medida, de um debate paradoxal, os professores e seus pontos de vista pouco são mencionados, indicando que nossa presença no debate não é percebida ou levada em consideração.

De maneira semelhante, em outro momento, o autor indica que “da associação da neurociência com a psicologia cognitiva – e não de sua oposição – podem vir sugestões muito úteis aos professores e, é claro, aos alunos” (LENT, 2019, p. 116, grifo nosso). É importante atentar-se a qual compreensão da docência se constrói dentro desta área transdisciplinar, uma vez que, analisando o trecho do livro e outros trabalhos de intervenção realizados por médicos e psicólogos, o que se pode inferir é que o papel do professor é apenas executar as sugestões e não ajudar a pensa-las.

Este imaginário da docência, que não os inclui como sujeitos ativos dentro de sua própria prática parece afastar a educação das áreas das neurociências. De fato, como é apontado por diversos autores, para que haja avanços, é necessário que os profissionais trabalhem juntos (LENT, 2019; COSENZA; GUERRA, 2011; PICKERING, HOWARD-JONES, 2007), contudo, para que haja uma aplicação pedagógica nas escolas, que é o fim prático desejado, a participação ativa do pedagogo é fundamental.

Verifica-se, ainda, que existem falhas de compreensão de outros profissionais a respeito das próprias noções educacionais. Para Cosenza e Guerra (2011), “Os avanços das neurociências possibilitam uma abordagem mais científica do processo ensino-aprendizagem, fundamentada na compreensão dos processos cognitivos envolvidos” (p. 143, grifo nosso). Percebe-se aqui um equívoco conceitual, pois o que os autores clamam que se defina por uma “abordagem mais científica” é, na verdade, uma abordagem neurobiológica. A educação é, também, uma ciência. Este equívoco, por sua vez, pode ser também compreendido como uma ausência de reconhecimento da educação, o que apenas afasta o diálogo entre estes campos de estudo.

Além disso, a falta da compressão de conceitos educacionais, tais como os citados no capítulo anterior, como sucesso e fracasso escolar e questões sociais intrínsecas ao aprendizado, levam o conhecimento das neurociências educacionais e sua aplicação na prática do professor a serem questionados. As neurociências não negam que o ambiente e as condições sociais são importantes ao desenvolvimento da criança e aprendizagem, entretanto, não trabalham de forma a explicitar tais fatores e discuti-los, pois, apesar de não ignorar tais fatores, focam nos aspectos biológicos.

A fim de compreender este último aspecto, podemos citar como exemplo o sucesso escolar. Adele Diamond, em suas publicações sobre as funções executivas, salienta que estas habilidades são cruciais para que a criança atinja um nível maior de excelência acadêmica, nomeado, neste caso, como sucesso escolar pela autora.

O debate educacional em torno destas noções se aprofunda nas questões sociológicas, como é o caso do livro de Bernard Lahire “Sucesso escolar nos meios populares” (1997).

Diamond cita em seus trabalhos diversas pesquisas, que aqui também citamos, que fatores sociais como a baixa condição socioeconômica e questões familiares podem impactar positivamente ou negativamente no desenvolvimento das funções executivas e, por consequência, no desempenho escolar. Entretanto, nestas pesquisas, os olhares não se voltam para a compreensão do fenômeno de maneira mais profunda.

Bernard Lahire (1997) traz estudo de casos para permitir que direcionemos nosso olhar para o sucesso escolar de outra perspectiva. No perfil 13 analisado por Lahire, acompanhamos o caso de Souyla, uma jovem que, apesar da baixa situação socioeconômica em que a família se encontra, é uma aluna que se enquadra na condição de êxito escolar, explicitando que não basta olharmos para as estatísticas, pois elas não explicam os fenômenos em sua totalidade. Como explica Lahire (1997) na apresentação do capítulo em que analisa os perfis de alunos:

Ao contrário da compreensão descontextualizada das causas do “fracasso” ou do “sucesso”, a reconstrução das pressões sociais relacionais concretas que se exercem sobre as crianças singulares procura restituir os determinismos sociais relacionais [...] quando falam de casos particulares, a reter apenas um traço, um elemento da vida da criança (ser canhoto, ter sido operado uma vez, ter um problema de saúde...) ou da família (família monoparental, pais desempregados que vivem com a ajuda mínima do Estado...), para convertê-lo em causa do seu problema escolar. [...] estas visões espontaneamente isolacionistas e absolutistas que selecionam um traço – às vezes físico -, o isolam do contexto no qual desempenha um papel e lhe conferem, de forma mágica, o poder exclusivo de explicação, quisemos afirmar a primazia do todo sobre os elementos, das relações entre as características sobre as características per se.”
(p 73)

Nos trabalhos realizados por neurocientistas, este debate sociológico não é levado em consideração. Evidencia-se, portanto, as diferenças metodológicas entre os campos de estudo das neurociências e educação, uma vez que as neurociências utilizam métodos compatíveis às ciências naturais, enquanto que a educação leva em consideração os aspectos sociológicos e filosóficos do debate, buscando alternativas qualitativas para discutir determinado tema. Portanto, para que o diálogo entre as

áreas seja possível, faz-se necessário levar em consideração ambos os campos e ambos métodos de análise de um determinado fenômeno.

Embora o campo da neurociência educacional tenha recebido cada vez mais atenção por parte dos pesquisadores, como pudemos perceber por meio dos gráficos ilustrados neste capítulo, pouca ou nenhuma mudança é percebida na prática. As neurociências foram capazes de esclarecer muitos processos cerebrais que antes eram desconsiderados, entretanto, o conhecimento que emergiu das descobertas recentes não está sendo aplicado diretamente a favor da ciência do aprendizado dentro das escolas (VAUGHN, BROWN, JOHNSON, 2020).

Mesmo as pesquisas que buscam integrar o campo da educação trazem contribuições do campo da psicologia educacional e ciência educacional, mas não citam, diretamente, a educação e os aspectos pedagógicos, integrando pedagogos e professores como atuantes no processo de pesquisa e para além disto. Perguntamos, portanto, como a aplicação destes conhecimentos na prática é possível? Visto que os professores serão os profissionais que atuarão com este conhecimento, diretamente em sala de aula onde os recursos serão aplicados, como é viável não os incluir no processo de pesquisa e elaboração de intervenções? Sendo assim, compreende-se que é essencial inserir os professores no processo de construção deste conhecimento.

Na introdução desta dissertação questionamos como é possível ensinar sem saber como se aprende. E, não obstante, sendo o cérebro o órgão da aprendizagem, como o cérebro aprende? Em igual medida, podemos, ainda, questionar: Como é possível realizar uma transposição didática para a prática do professor, sem que o professor ajude a construí-la? A neurociência educacional pode ser concebida como um tema complexo, multifacetado, que não pode ser simplificado, assim como a educação e as neurociências, isoladamente. Assim, é necessário iniciar o diálogo e recriar um ponto de partida em comum para todos os profissionais que podem contribuir para a formação deste conhecimento.

De todo modo, as pesquisas atuais das neurociências educacionais trazem diversas contribuições teóricas. A maior dificuldade está na transposição didática para a prática. Os avanços dos neurocientistas com os exames de imagens são relevantes, entretanto, faz-se necessário mais do que imagens e conclusões a partir delas para que o professor transforme sua prática. De modo análogo, o mesmo ocorre com as

bases neurobiológicas do aprendizado. Pouco nos ajuda, como docentes, compreender os processos físico-químicos da atividade neuronal.

Como o cérebro aprende pode ser fascinante, mas desafia a sua utilização na prática. Apesar disso, os conhecimentos das neurociências são importantes, também, para que se compreenda o desenvolvimento infantil de uma perspectiva biológica. Nesse sentido, situações que surgem em sala de aula podem ser melhor compreendidas já que, a partir deste entendimento, percebe-se quais comportamentos são comuns e esperados para uma determinada faixa etária, o que evita uma compreensão falsa do desenvolvimento baseada em neuromitos, informações neurocientíficas equivocadas (TARDIF; DOUDIN; MEYLAN, 2015, PASQUINELLI, 2012).

Nesse sentido, é necessário mais do que apenas introduzir estudos teóricos a respeito da neurociência educacional nas graduações de pedagogia e licenciaturas ou formações continuadas. Ainda, conclui-se que também não bastam sugestões para a prática pensadas por profissionais que não vivenciam o cotidiano das salas de aula.

Um fator a ser levado em consideração é a dificuldade de comunicação entre as áreas das neurociências e educação. Para além das diferenças metodológicas e a necessária “tradução” dos termos neurobiológicos que dificultam o diálogo entre os dois campos do conhecimento, nenhuma das publicações científicas com bom fator de impacto estudadas durante o período de pesquisa oferece mais do que uma proposição de trabalho transdisciplinar.

Como percebemos acima, são abundantes as informações na literatura a respeito das contribuições das neurociências à educação, entretanto, nota-se que muitos artigos que versam sobre a neurociência educacional são publicados em revistas de baixo fator de impacto, com qualis inferior a B2. As pesquisas de maior impacto estão concentradas em periódicos específicos de outras áreas do conhecimento que não educação, principalmente na psicologia, biologia e medicina.

Durante as leituras realizadas, foi possível notar que muitos autores neurocientistas abordam a aprendizagem, mas pouquíssimos professores arriscam-se em abordar as neurociências na educação. Em alguma medida, falar sobre neurociências no campo da educação parece configurar-se como um desafio que, mesmo diante de seu potencial, traz pouca credibilidade. Assim, encontrar pesquisas em periódicos de alto impacto se constituiu uma dificuldade, principalmente entre periódicos nacionais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi possível notar, as convergências entre educação e as neurociências são diversas. As contribuições práticas é que se constituem, em grande medida, como uma dificuldade. Durante o período de pesquisa, perguntamo-nos porque as neurociências não são reconhecidas no campo da educação, visto que o meio científico indica sua relevância.

Foi possível observar variados obstáculos, como as diferenças metodológicas das ciências naturais e ciências humanas, a diferença de vocabulário entre as áreas e a necessidade de “tradução” para que haja um maior entendimento dos termos anatômicos e neurobiológicos utilizados pelos neurocientistas, o desafio do educador em ressignificar a prática docente a partir de novas contribuições e o paradoxo territorial entre psicólogos e neurocientistas.

Por meio da revisão de literatura, que nos possibilitou ter acesso a grande parte das publicações clássicas das neurociências e educação e de trabalhos com grande fator de impacto e relevância, concluiu-se também que a figura do professor e sua contribuição, neste meio, é estigmatizada, uma vez que, apesar das afirmações de necessidade da construção de um campo transdisciplinar, os conhecimentos docentes pouco tem espaço nas pesquisas da neurociência educacional, o que apenas afasta a possibilidade de um diálogo entre as ciências médicas, psicológicas e educacionais.

A questão norteadora desta pesquisa foi: Como as funções executivas se articulam às práticas pedagógicas na educação infantil? Desta forma, compreendemos que as funções executivas podem ser consideradas como uma das contribuições da área das neurociências. Como abordado no capítulo II, as funções executivas centrais e complexas incluem capacidades de flexibilidade, autocontrole, inibição, manter objetivos em mente, raciocínio, solução de problemas, organização e planejamento, entre outros. Portanto, são habilidades necessárias à aprendizagem, bem como ao desenvolvimento de uma série de atividades escolares propostas pelos professores.

Assim, entende-se que as funções executivas se relacionam diretamente com o desempenho escolar e desenvolvimento de habilidades cognitivas que dão suporte ao aluno. Sugere-se que uma boa proficiência nas FEs é mais importante para a

prontidão escolar do que o próprio QI, o que, na prática, se revela evidente, já que na escola as crianças se deparam com situações em que é necessário utilizar-se destas capacidades para garantir melhor desempenho nas atividades escolares.

A escola possui regras e exige a capacidade do sujeito de adequar-se a elas. Essa adequação do comportamento necessita da flexibilidade cognitiva para acontecer, assim, quanto melhor a proficiência nesta função, maior será a facilidade com que o sujeito se revela apto a seguir as regras e adaptar-se ao ambiente. Portanto, quando falamos de flexibilidade cognitiva, é a habilidade usada para o aluno fazer a interpretação de uma situação e ajustar-se com uma atitude condizente. Por exemplo, uma criança que compreende que durante a explicação da professora é necessário fazer silêncio, sendo assim possível prestar atenção e apreender o conteúdo, está exercendo sua flexibilidade cognitiva para fazer uma leitura do ambiente, compreendendo que para aquela determinada situação, a atitude adequada é prestar atenção.

A necessidade de uma boa proficiência nas FEs é evidente também em situações em que o controle inibitório é essencial. O controle inibitório é a capacidade que temos de inibir impulsos instintivos para responder, usando o raciocínio, de maneiras mais eficientes para cada situação. Podemos observar vários momentos no ambiente escolar onde o aluno mais proficiente nas FEs responderá melhor quando comparado a um aluno com FEs menos desenvolvidas, como por exemplo quando a criança é capaz de ignorar a decoração colorida da sala de aula para olhar para o quadro, onde a professora está apresentando as vogais ou quando consegue se atentar à explicação mesmo quando outras crianças passam conversando no corredor.

Já a memória operacional, que realiza um armazenamento temporário de informações conforme realizamos tarefas, é necessária para que não esqueçamos detalhes atividade que está sendo realizada quando eles já não estão mais presentes, mas são essenciais para a conclusão daquela tarefa. A leitura exemplifica bastante bem a capacidade de memória operacional, uma vez que quando direcionamos o olhar para realizar a leitura de uma palavra, as anteriores já não estão mais a vista e, apesar disso, conseguimos compreender a ideia de um texto e sua mensagem.

Pensando nos conteúdos escolares, o raciocínio, organização, solução de problemas e planejamento são capacidades primordiais para desenvolver a maior parte das atividades escolares de forma direta. O ambiente escolar é um dos espaços

sociais que as crianças mais frequentam, passando múltiplas horas do dia, sendo assim, é importante que a escola estimule o desenvolvimento de habilidades que serão essenciais para o amadurecimento e formação do estudante, particularmente nos anos da educação infantil.

Dessa forma, as funções executivas se articulam às práticas pedagógicas, principalmente na educação infantil, período o qual o sujeito está em idade de formar capacidades que predizem outras habilidades cognitivas futuras, principalmente as acadêmicas, relacionadas ao bom desempenho escolar.

Assim, são propostas atividades, cursos de formação aos professores que os auxiliem no cotidiano escolar, currículos como o Montessori e Tools of the Mind e intervenções como o PIAFex, proposto pela brasileira Natália Dias. Tais sugestões para aumentar a proficiência nas funções executivas de crianças demonstram ser eficientes, uma vez que foram testadas empiricamente, analisadas e avaliadas.

Entretanto, observa-se que tais propostas são, em sua maioria, apresentadas por médicos ou psicólogos, enquanto que o professor é apenas a figura que aceita a sugestão e aplica, mas não ajuda a criar alternativas possíveis. É necessário compreender que o professor é, também, capaz de elaborar intervenções, principalmente quando se pensa em intervenções que tem como princípio a transdisciplinaridade.

O debate dentro da área da educação não é realizado na mesma intensidade e quantidade que nas áreas neurocientíficas e psicológicas, apesar disso, o professor é o profissional mais adequado para sugerir transposições didáticas à prática, uma vez que o objetivo é a aplicação das neurociências em sala de aula.

REFERÊNCIAS

AMRAN, M. S.; RAHMAN, S.; SURAT, S.; BAKAR, A. Y. A. Connecting neuroscience and education: insight from neuroscience findings for better instructional learning. *Journal for the education of gifted young scientists*, v. 7, n. 2, 2019.

ANDRADA, E. G. C. **O Treinamento de Suporte Parental (TSP) como fator de promoção do suporte parental e do desempenho escolar de crianças na primeira série.** Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Psicologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ASSEF, E. C. dos S.; CAPOVILLA, A. G. S.; CAPOVILLA, F. C. Avaliação do controle inibitório em TDAH por meio do teste de geração semântica. **Psicologia: teoria e prática**, v. 9, n. 1, p. 61-74, 2007.

BANKS-LEITE, L.; GALVÃO, I. (org.). **A educação de um selvagem:** as experiências pedagógicas de Jean Itard. 2 ed. São Paulo: Cortez, 2001.

BARNETT, W. S.; JUNG, K.; YAROSZ, D. J.; THOMAS, J.; HORNBECK, A.; STECHUK, R.; BURNS, S. Educational effects of the Tools of the Mind curriculum: A randomized trial. **Early childhood research quarterly**, v. 23, n. 3, p. 299-313, 2008.

BARTOSZECK, A. B.; BARTOSZECK, F. K. Percepção do professor sobre neurociência aplicada à educação. **Educere - Revista da Educação**, n. 9, p. 7-32, 2009.

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências:** desvendando o sistema nervoso. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

BERCH, D. B.; KRIKORIAN, R.; HUHA, E. M. The Corsi block-tapping task: Methodological and theoretical considerations. **Brain and cognition**, v. 38, n. 3, p. 317-338, 1998.

BERG, W. K.; BYRD, D. L. The Tower of London spatial problem-solving task: Enhancing clinical and research implementation. **Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology**, v. 24, n. 5, p. 586-604, 2002.

BHATNAGAR, S. C. **Neurociência para o estudo dos distúrbios da comunicação.** 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

BODROVA, E.; LEONG, D. J. Tools of the Mind: A Vygotskian early childhood curriculum. In: _____. *International handbook of early childhood education*. Springer Science, 2018, p. 1095-1111.

BODROVA, E.; LEONG, D. J.; AKHUTINA, T. V. When everything new is well-forgotten old: Vygotsky/Luria insights in the development of executive functions. **New directions for child and adolescent development**, v. 2011, n. 133, p. 11-28, 2011.

BOSCH, H. A extração da pedra da loucura. 1475-1480. Pintura, óleo sobre madeira, 48 x 35 cm.

BOWERS, J.S. THE PRACTICAL AND PRINCIPLED PROBLEMS WITH EDUCATIONAL NEUROSCIENCE. **PSYCHOLOGICAL REVIEW**, V. 123, P. 600–612, 2016A.

BOWERS, J.S. PSYCHOLOGY, NOT EDUCATIONAL NEURO-SCIENCE, IS THE WAY FORWARD FOR IMPROVING EDUCATIONAL OUT-COMES FOR ALL CHILDREN: REPLY TO GABRIELI (2016) AND HOWARD-JONES ET AL. (2016). **PSYCHOLOGICAL REVIEW**, N. 123, P. 628–635, 2016B.

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

BRUCKI, S. M. D.; MALHEIROS, S. M. F.; OKAMOTO, I. H.; BERTOLUCCI, P. H. F. Dados normativos para o teste de fluência verbal categoria animais em nosso meio. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 55, n. 1, p. 56-61, 1997.

CAPOVILLA, A. G. S.; ASSEF, E. C. dos S.; COZZA, H. F. P. Avaliação neuropsicológica das funções executivas e relação com desatenção e hiperatividade. **Avaliação psicológica**, v. 6, n. 1, p. 51-60, 2007.

CARIM, D. de B.; MIRANDA, M. C.; BUENO, O. F. A. Translation and adaptation into portuguese of the Behavior Rating Inventory of Executive Function-BRIEF. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v. 25, n. 4, p. 653-661, 2012.

CASTRO, F. S.; LANDEIRA-FERNANDEZ, J. Alma, mente e cérebro na pré-história e nas primeiras civilizações humanas. **Psicologia: reflexão e crítica**, v. 23, n. 1, p. 37-48, 2010.

CASTRO, S. L.; CUNHA, L. S.; MARTINS, L. Teste Stroop Neuropsicológico em Português. 2009.

CORSO, H. V.; SPERB, T. M.; JOU, G. I. de; SALLES, J. F. Metacognição e funções executivas: relações entre os conceitos e implicações para a aprendizagem. **Psicologia: teoria e pesquisa**, v. 29, p. 21-29, 2013.

CIÊNCIAS E COGNIÇÃO. Executive functions and attention: influence on the learning process. Youtube, 2 de set. de 2021. Disponível em: <https://youtu.be/LXROYL_7c1U>. Acesso em: 2 de set. de 2021.

COGMED BRASIL. Cogmed – Treinamento de Memória Operacional. Youtube, 23 de abril de 2015. Disponível em: <https://youtu.be/QT07ulmj__0>. Acesso em: 9 de mar. de 2022.

COGNITIVE GROUP BRASIL – Prof Liércio Pinheiro. Avaliação neuropsicológica cognitiva | Teste de trilhas em adultos | Aula prática de laboratório. Youtube, 4 de abril de 2020. Disponível em: <<https://youtu.be/B-MEJ9Yw8Ag>>. Acesso em: 20 de abr. de 2022.

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

CHARCHAT-FICHMAN, H.; OLIVEIRA, R. M. Performance of 119 Brazilian children on Stroop paradigm: Victoria version. **Arquivos de Neuro-psiquiatria**, v. 67, p. 445-449, 2009.

CHARLOT, Bernard. Da relação com o saber: elementos para uma teoria. Porto Alegre: Artmed Editora, 2000.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. 12 ed. São Paulo: Cortez, 2017.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3 edição. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DAMÁSIO, A. **O erro de descartes**. São Paulo: Companhia das letras, 2012.

DI DOMENICO, Stefano I.; RYAN, Richard M. The emerging neuroscience of intrinsic motivation: A new frontier in self-determination research. **Frontiers in human neuroscience**, v. 11, p. 145, 2017.

DIAMOND, A.; LEE, K. Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 959-964, 2011.

DIAMOND, A. Why improving and assessing executive functions early in life is critical. In: _____. Executive Function in Preschool-Age Children: Integrating Measurement, neurodevelopment, and translational research. American Psychological Association, 2016, p. 11-43

DIAS, Natália M.; SEABRA, A. G. Funções executivas: desenvolvimento e intervenção. **Temas sobre desenvolvimento**, v. 19, n. 107, p. 206-212, 2013.

- EVERTON, T.; GALTON, M.; PELL, T. Teachers' Perspectives on Educational Research: Knowledge and context. **Journal of Education for Teaching**, v. 26, n. 2, p. 167–182, 2000.
- FERRARI, Michel. What can neuroscience bring to education?. **Educational Philosophy and Theory**, v. 43, n. 1, p. 31-36, 2011.
- FERRAZZA, D. A. de; CRUZ, M. G. A. A procura da pedra da loucura: apontamentos sobre o processo de biologização da psiquiatria. **Revista de Pensamiento e Investigación Social**, v. 18, n. 3, p. 2157, 2018.
- FIGUEIREDO, Q. G. M. S. Ensino de música na escola: contribuições para o desenvolvimento integral do ser humano. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Nova de Julho, São Paulo, 2017.
- FISKE, A.; HOLMBOE, K. Neural substrates of early executive function development. **Developmental Review**, v. 52, p. 42-62, 2019.
- GARON, N.; BRYSON, S. E.; SMITH, I. M. Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. **Psychological bulletin**, v. 134, n. 1, p. 31, 2008.
- GIOIA, G. A.; ISQUITH, P. K.; GUY, S. C.; KENWORTHY, L. Test review behavior rating inventory of executive function. **Child Neuropsychology**, v. 6, n. 3, p. 235-238, 2000.
- GROSSI, M. G. R.; GROSSI, V. G. R.; SOUZA, J. R. L. M.; SANTOS, E. D. Uma reflexão sobre a neurociência e os padrões de aprendizagem: a importância de perceber as diferenças. **Debates em educação**, v. 12, p. 94-111, 2014.
- HAMDAN, A. C.; PEREIRA, A. P. de A. Avaliação neuropsicológica das funções executivas: considerações metodológicas. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v. 22, n. 3, p. 386-393, 2009.
- HIGH, P. C.; DONOGHUE, E.; ENGLISH, K. L.; FUSSELL, J.; JAUNES, P. K.; JONES, V. F.; SZILAGYI, M. A.; VICKERS, D. L.; DANIEL, J.; LERNER, C.; WILLIAMS, M. M.; STUBBS-WYNN, P.; CRANE, M.; MURRAY, R. D.; BARNETT, S. E.; DEVORE, C. D.; GEREIGE, R. S.; GRANT, L. M.; LAMONT, J. H.; MAGALNICK, H.; MONTEVERDI, G. J.; PATTISHALL, E. G.; ROLAND, M. M.; WHEELER, L. S. M.; COLLIER, M. J.; DELACK, S.; VERNON-SMILEY, M.; WALLACE, R.; GUINN-JONES, M. School readiness. **Pediatrics**, v. 121, n. 4, p.1008-1015, 2008.
- HOMACK, S.; RICCIO, C. A. A meta-analysis of the sensitivity and specificity of the Stroop Color and Word Test with children. **Archives of clinical Neuropsychology**, v. 19, n. 6, p. 725-743, 2004.

JOFFILY, S. B.; JOFFILY, L.; ANDRAUS, N. M. O estado de sono no processo de aprendizagem. **Ciências & Cognição**, v. 19, n. 3, p. 531-543, 2014.

KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J. H.; JESSELL, T. M. **Fundamentos da neurociência e do comportamento**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.

KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J. H.; JESSELL, T. M.; SIEGELBAUM, S. A.; HUDSPETH, A. J. **Princípios de neurociências**. Porto Alegre: Artmed, 2014.

KIM, E. J.; PELLMAN, B.; KIM, J. J. Stress effects on the hippocampus: a critical review. **Learning & memory**, v. 22, n. 9, p. 411-416, 2015.

KOLB, B.; WHISHAW, I. Q. **Neurociência do comportamento**. 1. ed. Barueri: Editora Manole, 2002.

LAHIRE, Bernard. Sucesso escolar nos meios populares: as razões do improvável. São Paulo: Ática, 1997.

LEÃO, L. M. **Metodologia do estudo e da pesquisa**: facilitando a vida dos estudantes, professores e pesquisadores. Petrópolis: Vozes, 2016.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios?**: conceitos fundamentais de neurociência. 2 ed. São Paulo: Atheneu, 2010.

LENT, R. **O cérebro aprendiz**: neuroplasticidade e educação. Rio de Janeiro: Atheneu, 2019.

LOUZADA, F.; MENNA-BARRETO, L. **O sono na sala de aula**: tempo escolar e tempo biológico. Rio de Janeiro: Vieira e Lent, 2007.

LUNDY-EKMAN, L. **Neurociência**: fundamentos para a reabilitação. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

MIYAKE, A.; FRIEDMAN, N. P.; EMERSON, M. J.; WITZKI, A. H.; HOWERTER, A. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. **Cognitive psychology**, v. 41, n. 1, p. 49-100, 2000.

MIGUEL, Fabiano Koich. Teste Wisconsin de classificação de cartas. **Avaliação Psicológica**, v. 4, n. 2, p. 203-204, 2005.

MOFFITT, T. E.; ARSENEAULT, L.; BELSKY, D.; DICKSON, N.; HANCOX, R. J.; HOUTS, R.; POULTON, R.; ROBERTS, B. W.; ROSS, S.; SEARS, M. R.; THOMSON,

W. M.; CASPI, A. A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. **Proceedings of the national Academy of Sciences**, v. 108, n. 7, p. 2693-2698, 2011.

MORGAN, P. L.; FARKAS, G.; HILLEMEIER, M. M.; PUN, W. H. Kindergarten children's executive functions predict their second-grade academic achievement and behavior. **Child development**, v. 90, n. 5, p. 1802-1816, 2019.

NEUROCIÊNCIAS POR ADRIANO FREITAS (UFF) 27 - Imprinting. [S.l.]: **Neurociências por Adriano Freitas**, jun., 2020. Podcast. Disponível em: < <https://open.spotify.com/episode/4DVCtYfKA1bsT7wrjHHYsS?si=zxYdAsHHQrioRJB-kVJdKA> >. Acesso em: 16 fev. 2021.

PANTOJA, L. S.; HOURCADE, J. P.; DIEDERICH, K.; CRAWFORD, L.; UTTER, V. Developing StoryCarnival: exploring computer-mediated activities for 3 to 4 year-old children. In: **Proceedings of the XVI Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems**. 2017. p. 1-4.

PASQUINELLI, Elena. Neuromyths: Why do they exist and persist?. **Mind, Brain, and Education**, v. 6, n. 2, p. 89-96, 2012.

PAULSEN, F.; WASCHKE, J. **Sobotta: atlas de anatomia humana: cabeça, pescoço e neuroanatomia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015.

PIANTA, R.; WALSH, D. **High-risk children in schools: Constructing sustaining relationships**. 1 Ed. Abingdon: Routledge, 1996.

PICKERING, S. J.; HOWARD-JONES, P. Educators' Views on the Role of Neuroscience in Education: Findings From a Study of UK and International Perspectives. **Mind, Brain, and Education**, v. 1, n. 3, p. 109–113, 2007.

ROTTA, N. T.; OHLWEILER, L; RIESGO, R. dos S (org.). **Transtornos da aprendizagem: abordagem neurobiológica e multidisciplinar**. 2 Ed. Porto Alegre: Artmed, 2016.

ROTTA, N T.; BRIDI FILHO, C. A.; BRIDI, F. R. de S. (org.). **Neurologia e aprendizagem: abordagem multidisciplinar**. Porto Alegre: Artmed, 2016.

RODRIGUES, A. B.; YAMASHITA, E. T.; CHIAPPETTA, A. L. de M. L. Teste de fluência verbal no adulto e no idoso: verificação da aprendizagem verbal. **Revista Cefac**, v. 10, n. 4, p. 443-451, 2008.

SAMUELS, Boba M. Can the differences between education and neuroscience be overcome by mind, brain, and education? **Mind, Brain, and Education**, v. 3, n. 1, p. 45-55, 2009.

SANT'ANNA, B. de A.; QUAYLE, J.; PINTO, K. O.; SCAF, M.; LUCIA, M. C. S. de. Torre de Hanói: proposta de utilização do instrumento para sujeitos de 13 a 16 anos. **Psicol. hosp.**, v. 5, n. 2, p. 36-56, 2007.

SILVA, T. V. da. O pecado no cotidiano medieval: as obras moralizantes e sociais de Hieronymus Bosch (1485-1516). Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em História, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

SILVA, P. A. da; SANTOS, F. H. dos. Discalculia do desenvolvimento: avaliação da representação numérica pela ZAREKI-R. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 27, p. 169-177, 2011.

SIMMS MANN'S INSTITUTE. Adele Diamond: What are Executive Functions? Youtube, 17 de nov. de 2016. Disponível em: <https://youtu.be/___8mV-7yAaE>. Acesso em: 2 de out. de 2021.

STROOP, J. P. Studies of interference in serial verbal reactions. **Journal of Experimental Psychology**, v. 18, p. 643-662, 1935.

TARDIF, Eric; DOUDIN, Pierre-André; MEYLAN, Nicolas. Neuromyths among teachers and student teachers. **Mind, brain, and Education**, v. 9, n. 1, p. 50-59, 2015.

THOMAS, M. S. C.; ANSARI, D.; KNOWLAND, V. C. P. Annual research review: educational neuroscience: progress and prospects. **Journal of child psychology and psychiatry**, v. 60, n. 4, p. 477-492, 2019.

VAN DE GRAAFF, K. M. **Anatomia humana**. 6 ed. Barueri: Manole, 2003.

VARMA, S.; MCCANDLISS, B. D.; SCHWARTS, D. L. Scientific and pragmatic challenges for bridging education and neuroscience. **Educational Researcher**, v. 37, n. 3, p. 140-152, 2008.

VAUGHN, A. R.; BROWN, R. D.; JOHNSON, M. L. Understanding conceptual change and science learning through educational neuroscience. **Mind, Brain, and Education**, v. 14, n. 2, p. 82-93, 2020.

YARIBEYGI, H.; PANAHI, Y.; SAHRAEI, H.; JOHNSTON, T. P.; SAHEBKAR, A. The impact of stress on body function: A review. **EXCLI journal**, v. 16, p. 1057, 2017.