

Neurociência cognitiva e a aprendizagem de matemática: diálogos possíveis

Rogéria Viol Ferreira Toledo¹<http://orcid.org/0000-0002-5333-5512>Celi Espasandin Lopes²<https://orcid.org/0000-0001-7409-2903>**Resumo**

A aprendizagem de matemática é um assunto que recentemente tem sido foco de pesquisas não só da área de Educação Matemática como também da área de Neurociência Cognitiva e Psicologia. Abrir espaço para entender o processamento numérico e a assimilação de conceitos matemáticos pelo comportamento cognitivo tem sido o objetivo de diversos pesquisadores. Este artigo propõe apresentar diálogos da literatura com o tema e um panorama sobre como a Educação Matemática tem aberto espaço para as pesquisas que trazem contribuições para a aprendizagem de matemática por meio de artefatos da Neurociência Cognitiva. Para isso, inicialmente foi feito um diálogo com referências bibliográficas acerca das possíveis contribuições da Neurociência Cognitiva para a aprendizagem matemática. Em seguida traz-se evidências de pesquisas contemporâneas que foram apresentadas em “territórios legitimados” da Educação Matemática. Possibilidades são apontadas para que as pesquisas que visam envolver as duas instâncias possam ser legitimadas e consigam alcançar seus objetivos.

Palavras-chave: Neurociência Cognitiva. Educação Matemática. Aprendizagem Matemática.

Abstract

Mathematics learning is a subject that has recently been the focus of research not only in the Mathematical Education's area but also in the Cognitive Neuroscience and Psychology's area. Making room for understanding numerical processing and the assimilation of mathematical concepts by cognitive behavior has been the goal of many researchers. This article proposes to present dialogues from the literature on the subject and an overview of how Mathematics Education has opened space for research that contributes to the learning of mathematics through artifacts of Cognitive Neuroscience. For this, a dialogue with bibliographical references was initially made about the possible contributions of Cognitive Neuroscience to mathematical learning. Next comes evidence from contemporary research that has been presented in the “legitimate territories” of mathematical education. Possibilities are pointed out so that research that aims to involve both instances can be legitimized and can achieve its objectives.

Keywords: Cognitive Neuroscience. Mathematics Education. Mathematical Learning.

¹ Professora do Departamento de Matemática do Instituto Federal de Minas Gerais - campus Congonhas. Licenciada em Matemática e Mestre em Educação pela Universidade Federal de Viçosa; Doutoranda em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Cruzeiro do Sul, Brasil. E-mail: rogeriaviol@yahoo.com.br

² Professora Titular do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática na Universidade Cruzeiro do Sul e Professora Titular do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Cidade de São Paulo. É pesquisadora produtividade CNPQ, nível 2. Universidade Cruzeiro do Sul e Universidade Cidade de São Paulo, Brasil. E-mail: celi.espasandin.lopes@gmail.com

1 Introdução

O campo de pesquisa interdisciplinar da neurociência educacional - ligando neurociência, psicologia e educação - testemunhou um grande crescimento nos últimos cinco a dez anos. Ao combinar métodos comportamentais e neurocientíficos, seu objetivo geral é alcançar uma compreensão mais ampla dos mecanismos neurocognitivos subjacentes à aprendizagem e apoiar o desenvolvimento de uma instrução eficaz.

Desde 1998, quando Byrnes e Fox sugeriram que os resultados de pesquisas sobre o cérebro podem ter aplicações úteis na educação, muitos pesquisadores não apenas apoiaram essa opinião teoricamente, mas também fizeram um esforço para aplicar os dados neurocognitivos obtidos ao desenvolvimento da teoria e prática educacional, incluindo o campo da cognição matemática. Um considerável corpo de pesquisa tem sido realizado no sentido de obter uma compreensão do fundamento neural da cognição numérica e, em um menor grau, do pensamento matemático e aprendizado nos campos como manipulações simbólicas, traduções entre representações de funções e resolução de problemas de geometria (DE SMEDT; VERSCHAFFEL, 2010).

Aprendizagem e cognição é uma área clássica e muito vital na pesquisa sobre Educação Matemática. Conexões mais próximas estão cada vez mais sendo feitas entre teorias sociais e cognitivas. Além disso, também são focos de interesse as influências de materiais manipuláveis, os contextos de sala de aula e os fatores afetivos, como emoções, crenças e atitudes na aprendizagem e cognição.

Devido a extraordinárias ferramentas modernas, como a emissão de pósitrons, tomografia computadorizada ou ressonância magnética funcional, os circuitos cerebrais subjacentes à linguagem, resolução de problemas e cálculo mental, agora podem ser visualizados no cérebro humano vivo. Vamos ver que quando nosso cérebro é confrontado com uma tarefa para a qual não foi preparado pela evolução, como multiplicar dois dígitos, recruta uma vasta rede de áreas cerebrais cujas funções iniciais são bastante diferentes, mas que podem, juntas, alcançar o objetivo desejado (DEHAENE, 1997).

Conhecer como acontece a relação entre a aprendizagem e o nosso cérebro possibilitará desenvolver cada vez mais pesquisas que buscam aprimorar o ensino de matemática. Por exemplo, a estrutura do raciocínio lógico-matemático é gerada pelas estruturas internas e neurofisiológicas do cérebro, tendo sua iniciação em torno dos 3 anos de idade. Além de saber os processos de amadurecimento do cérebro, é necessário ao docente saber também, por exemplo, o papel do sistema límbico³ e das emoções como um elemento facilitador ou bloqueador do aprendizado e das relações entre mestre, aluno e classe (MAIO; CHIUMMO, 2012).

Ao saberem sobre esses novos conhecimentos na relação ensino-aprendizagem, os

3 O sistema límbico é a unidade responsável pelas emoções e comportamentos sociais.

professores serão capazes de se interarem com seus alunos de forma a levarem em consideração no ensino as estruturas biológicas e como o aluno aprende e adquire conhecimento, favorecendo a aprendizagem e possibilitando ao aluno a conexão entre conhecimentos novos e aqueles já aprendidos anteriormente.

Cabe ressaltar que não se trata de incluir nos cursos de formação docente novas metodologias de ensino que negam todas as abordagens metodológicas historicamente construídas e legitimadas. Ao alterarmos os conhecimentos e as estruturas sociais, teremos automaticamente alterações nas metodologias. Os novos conhecimentos científicos interferem na relação ensino-aprendizagem e conseqüentemente nas abordagens metodológicas (MAIO; CHIUMMO, 2012).

Como dito anteriormente, as novas tecnologias aplicadas ao estudo do cérebro humano possibilitam novas informações, dados e conhecimentos de como o cérebro funciona *in vivo*, fazendo com que devamos ter, no decorrer do século XXI, metodologias baseadas nesses conhecimentos, que poderão reforçar as já conhecidas ou alterá-las totalmente.

Diante dessas observações e das pesquisas que vêm sendo realizadas, conclui-se que os processos que o cérebro utiliza para a geração de conhecimento devem ser respeitados, caso contrário não haverá aprendizado.

Sendo assim, nesse texto pretende-se discutir o funcionamento do cérebro e sua relação com a aprendizagem e com a matemática e, bem como, lançar foco sobre os caminhos que a investigação nessa área tem percorrido, nos direcionando para futuras pesquisas.

2 O funcionamento do cérebro e sua relação com a aprendizagem e com a matemática

O cérebro é a principal parte do nosso sistema nervoso. É por ele que processamos as informações recebidas pelos sentidos e reagimos e interagimos com o meio ambiente.

Somos capazes de produzir sentimentos, julgar, pensar, ter atenção, dentre outros graças aos circuitos nervosos constituídos por bilhões de células chamadas neurônios. Segundo Consenza e Guerra (2011) é por meio do recebimento e condução de informações que os neurônios formam cadeias complexas. São impulsos nervosos de natureza elétrica percorrendo toda a sua extensão. A passagem de informação entre essas células ocorre através de sinapses, que liberam uma substância química chamada neurotransmissor, que pode ser excitatório ou inibitório.

Explicando um pouco mais sobre a utilização dessas importantes células chamadas neurônios, esses autores acrescentam que a maior parte do nosso sistema nervoso é formada na fase embrionária e fetal, havendo criação de novos neurônios após o nascimento, mas sabe-se que essa é reduzida e limitada a certas regiões do cérebro. As células não utilizadas ou que não estabeleceram comunicação são eliminadas gradativamente e antes do nascimento e nos primeiros meses de vida essa perda é mais intensa.

Diante dessa perda natural, eles enfatizam a importância da estimulação ambiental, pois

ela ajuda a não haver tanta perda, já que enriquece o cérebro aumentando as conexões sinápticas. Pode-se concluir então que a privação sensorial e o ambiente empobrecido prejudicam o desenvolvimento do sistema nervoso. Mas os autores salientam que a sobrecarga de informações também não é comprovadamente benéfica.

Em 1954 em seu livro “*Number: the language of Science*”, Tobias Dantzig falou sobre a intuição numérica presente nas crianças mesmo nas idades mais iniciais. Para ele, mesmo nos estágios mais baixos do desenvolvimento, o homem possui uma faculdade que ele denominou Sentido Numérico. Essa faculdade permite que o homem reconheça que algo mudou em uma pequena coleção quando, sem seu conhecimento direto, um objeto foi removido ou adicionado à coleção (DEHAENE, 1997).

Ao ponderarmos sobre o que acontece com o decorrer do tempo, podemos considerar que a capacidade de aprendizagem é mantida durante toda a vida devido à chamada plasticidade cerebral. Porém, um adulto ou idoso depende de muito mais esforço para criar modificações no cérebro, já que as

modificações que ocorrem na adolescência preparam o indivíduo para a vida adulta. O aumento da conectividade entre as células corticais é progressivo durante a infância, mas declina na adolescência até atingir o padrão adulto, o que reflete, provavelmente, uma otimização do potencial de aprendizagem. Nessa fase da vida diminui a taxa de aprendizagem de novas informações, mas aumenta a capacidade de usar e elaborar o que já foi aprendido (CONSENZA; GUERRA, 2011, p.36).

Portanto, a base da aprendizagem está no fazer e desfazer as associações existentes entre as células nervosas, habilidade que felizmente permanece durante toda a vida. Contudo, com o passar dos anos ela vai diminuir, exigindo mais tempo para ocorrer e demandando um esforço maior para que realmente tenhamos o aprendizado.

Diante disso destaca-se a importância de que os professores de matemática promovam situações de ensino que favoreçam o estabelecimento de ligações entre os conteúdos já vistos e os que virão a ser ensinados, ampliando a rede neural de seus alunos. A modo de exemplificação, se pensarmos no ensino de Matemática Comercial e Financeira, devemos promovê-lo aliado ao ensino de Funções Lineares e Quadráticas, de forma a criar uma aprendizagem mais eficiente e duradoura. Para se tornar proficiente em matemática, é preciso ir além desses módulos compartimentados e estabelecer uma série de links flexíveis entre eles.

Sabe-se que é devido à plasticidade cerebral e às ligações sinápticas que aprendemos e que muitos cálculos simples ocorrem ao mesmo tempo em vários neurônios distribuídos em vários circuitos. O poder computacional do cérebro humano reside principalmente em sua capacidade de conectar esses circuitos elementares em uma sequência útil, sob a influência de áreas executivas do cérebro, como o córtex pré-frontal e o cíngulo anterior. Sua orquestração,

sob a égide do córtex pré-frontal, traz uma flexibilidade que é inestimável para a execução de novas estratégias aritméticas (DEHAENE, 1997).

A partir disso, podemos analisar o que ocorre com as crianças que têm extrema dificuldade com números. Os limites flagrantes à plasticidade cerebral são vistos em crianças que sofrem de discalculia, um déficit aparentemente intransponível na aquisição aritmética. Algumas dessas crianças, consideradas com inteligência normal e que obtêm bons resultados na escola na maioria das disciplinas, sofrem de uma desvantagem excessivamente estreita que lembra os deficits neuropsicológicos vistos em adultos com danos cerebrais. As chances são de que elas estejam sujeitas a uma desorganização neuronal precoce dentro de áreas cerebrais que normalmente deveriam ter se especializado para processamento de números (DEHAENE, 1997). Por isso a importância dos professores terem conhecimento desse déficit gerado pela discalculia e saberem proceder metodologicamente no ensino de matemática caso seu aluno seja portador dessa deficiência cerebral.

Outro aspecto importante para o sistema nervoso é a atenção que damos à determinada informação. É essa atenção dispendida que vai definir se a mesma será percebida pelo sistema nervoso ou não. As preferências, as experiências anteriores, as necessidades e o estado emocional é que influenciam nas escolhas de “a o que devo dar atenção?”

Emoções negativas intensas podem interferir na atenção ao processamento cognitivo, pois temos duas áreas na região denominada *giro do círculo* tal que uma regula a atenção voltada aos processos emocionais e a outra coordena a atenção voltada aos processos cognitivos. E há evidências que mostram que uma dessas áreas pode ser inibidora do funcionamento da outra (CONSENZA; GUERRA, 2011).

Isso nos faz pensar na relação entre professor-aluno. Um aluno que estabelece boa relação com o seu professor tem muito mais chance de aprender devido à atenção que ele vai dispensar ao seu professor na hora que o mesmo estiver falando. Se, inversamente, uma criança desenvolve ansiedade matemática, essa fobia pode impedir que até mesmo o mais simples dos conceitos matemáticos se encaixe.

Mas diante de tanta informação que recebemos no decorrer do dia, como é feita a seleção do que realmente vamos aprender? Na atualidade sabemos que desde que acordamos até o instante de dormirmos, os nossos órgãos sensórios registram continuamente tudo o que vemos e ouvimos, na memória de curtíssima duração, que podem durar alguns milissegundos até minutos, sendo automaticamente desmanchados. Somente aqueles registros, estímulos, que despertam a nossa atenção, interesse ou por repetição, são transferidos para regiões chamadas de memórias sensórias de curta duração e esse controle é feito pelo sistema límbico que também é responsável pelas emoções.

Isso significa que o sistema límbico interfere na manutenção, bloqueio ou eliminação dos registros de curtíssima duração.

O sono, principalmente o de ondas lentas, desempenha um papel importantíssimo na geração das memórias, do conhecimento, pois após os registros nas memórias de curta duração durante o dia, o cérebro, durante o sono de ondas lentas, estabelece relações entre essas novas memórias com as já existentes, estabelecendo sinapses entre elas.

Essas novas ligações geram o que chamamos de memórias de longa duração ou permanentes e somente nesses casos é que podemos dizer que houve aprendizado. Esse fato possui sérias implicações nas avaliações, pois somente saberemos se houve aprendizado após o ser humano ter dormido (MAIO; CHIUMMO, 2012).

O cérebro, então, gera sinapses entre as diversas células envolvidas num determinado grupo de estímulos e se forem reestimuladas e utilizadas continuamente passarão a ter uma duração muito grande e por isso são chamadas de memórias permanentes. Isso significa que a repetição dos estímulos, das informações, é importante para a formação das memórias permanentes.

As memórias de longa duração são proteínas/aminoácidos que se formam no núcleo das células do encéfalo, sendo, portanto, registros físicos que existem no nosso cérebro. Devido a esse fato nunca devemos ensinar nada errado, já que mudanças e as adaptações serão feitas para armazenar esse novo conhecimento, mesmo sendo incorreto.

3 Evidências de pesquisas contemporâneas

Um impulso considerável para o crescimento da neurociência educacional veio da pesquisa sobre aprendizado de matemática. Algumas dessas descobertas foram apresentadas em edições especiais na revista ZDM Mathematics Education em 2010 e 2016.

A edição especial de 2010 intitulada “*Cognitive neuroscience and mathematics learning*” contou com quatorze artigos (ver Quadro 1) sendo o primeiro introdutório, em que são discutidas quais as relações que podem ser feitas entre a neurociência e as pesquisas educacionais.

Quadro 1 – Artigos publicados na revista ZDM Volume 42, Issue 6, Outubro de 2010

Nº e Título do artigo	Autores	Afilições
1. Editorial: A digital road map analogy of the relationship between neuroscience and educational research	Elsbeth Stern ^a Michael Schneider ^a	a. Instituto de Ciências do Comportamento, ETH Zúrique, Suíça

2. Developmental cognitive neuroscience of arithmetic: implications for learning and education	Vinod Menon	Faculdade de Medicina da Universidade de Stanford, EUA
3. Low numeracy and dyscalculia: identification and intervention	Brian Butterworth ^{a b} Diana Laurillard ^{b c}	a. Instituto de Neurociência Cognitiva, University College London, Reino Unido b. Centro de Neurociências Educacionais, Reino Unido c. Instituto de Educação, Universidade de Londres, Reino Unido
4. Bringing brain imaging to the school to assess arithmetic problem solving: chances and limitations in combining educational and neuroscientific research	Andreas Obersteiner ^a Thomas Dresler ^b Kristina Reiss ^a A. Carina M. Vogel ^c Reinhard Pekrun ^c Andreas J. Fallgatter ^d	a. Escola de Educação, Technische Universität München, Alemanha b. Departamento de Psiquiatria, Hospital Universitário de Würzburg, Alemanha c. Departamento de Psicologia, Universidade de Munique, Alemanha d. Departamento de Psiquiatria, Universidade de Tübingen, Alemanha
5. Mathematical cognition: individual differences in resource allocation		a. Departamento de Psicologia, Universidade Humboldt de Berlim, Alemanha b. Departamento de Matemática, Universidade Humboldt de Berlim, Alemanha c. Departamento de Neurologia Charité Berlin NeuroImaging Center, Alemanha d. Departamento de Linguística, Universidade de Potsdam, Alemanha
6. Neural correlates of counting large numerosity		a. Centro de Imagem-Neurociência e Aplicações em Patologia, Universidade Paris Descartes, França b. Instituto Universitário da França, França c. CHU de Caen, França

<p>7. Cognitive resource allocation for neural activity underlying mathematical cognition: a multi-method study</p>		<p>a. Departamento de Psicologia, Universidade Humboldt, Alemanha b. Centro de Psiquiatria e Neurociências, Universidade Paris Descartes, França c. Departamento de Ciências Cognitivas, Universidade Pierre e Marie Curie, França d. Escola de Mente e Cérebro de Berlim, Alemanha e. Departamento de Neurociência Molecular, Universidade George Mason, EUA</p>
<p>8. Computing solutions to algebraic problems using a symbolic versus a schematic strategy</p>		<p>a. Instituto Nacional de Educação, Universidade Tecnológica de Nanyang, Cingapura b. Duke-NUS Graduate Medical School, Singapura c. Departamento de Psicologia, Universidade Nacional de Cingapura, Cingapura d. Universidade da Austrália Ocidental, Austrália</p>
<p>9. Evidence from cognitive neuroscience for the role of graphical and algebraic representations in understanding function</p>		<p>a. Departamento de Matemática, Universidade de Auckland, Nova Zelândia b. Escola de Estudos Educacionais e Desenvolvimento Humano, Universidade de Canterbury, Nova Zelândia c. Departamento de Psicologia, Universidade de Auckland, Nova Zelândia d. Escola de Ciências, Educação em Matemática e Tecnologia, Universidade de Auckland, Nova Zelândia e. Departamento de Psicologia, Universidade de Auckland, Nova Zelândia</p>
<p>10. Overcoming intuitive interference in mathematics: insights from behavioral, brain imaging and intervention studies</p>		<p>a. Departamento de Educação Científica, Universidade de Tel Aviv, Israel</p>

11. Long-term characteristics of analogical processing in high-school students with high fluid intelligence: an fMRI study		<p>a. Departamento de Neurologia, Charité-Universitaetsmedizin Berlin, Alemanha</p> <p>b. Escola de Mente e Cérebro de Berlim, Humboldt-Universitaet, Alemanha</p> <p>c. Departamento de Psicologia, Humboldt-Universitaet, Alemanha</p> <p>d. Centro de Estudos da Neuroeconomia, Universidade George Mason, EUA</p> <p>e. Departamento de Linguística, Universidade de Potsdam, Alemanha</p>
12. Traveling down the road: from cognitive neuroscience to mathematics education ... and back		<p>a. Departamento de Ciências da Educação, Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica</p>
13. Promises and potential pitfalls of a 'cognitive neuroscience of mathematics learning'		<p>a. Instituto de Ciências do Comportamento, Instituto Federal Suíço de Tecnologia, Suíça</p> <p>b. Departamento de Psicologia, Universidade de Western Ontario, Canadá</p>
14. Glossary of technical terms in cognitive neuroscience		<p>a. Instituto de Ciências do Comportamento, Instituto Federal Suíço de Tecnologia, Suíça</p> <p>b. Departamento de Psicologia, Universidade de Western Ontario, Canadá</p> <p>c. Departamento de Ciências da Educação, Universiteit Leuven, Bélgica</p> <p>d. Departamento de Formação de Professores, Universidade de Turku, Finlândia</p>

Fonte: elaborado pelas autoras com informações obtidas através do endereço <https://link.springer.com/journal/11858/42/6>. Acesso em 26/11/2019.

Os dez artigos seguintes são resultados de pesquisas teóricas ou empíricas. Os artigos 2 e 3 fazem um trabalho revisional, em que Menon (2010) discute os processos cerebrais e cognitivos subjacentes ao desenvolvimento de habilidades aritméticas e Butterworth e Laurillard (2010) descrevem maneiras simples de identificar a baixa numeracia e a discalculia, oferecendo algumas novas maneiras de fortalecer o senso de número usando tecnologias de aprendizagem. Do artigo 4 ao 11 temos resultados de pesquisas experimentais, em que foram realizados procedimentos utilizando o fMRI^{4,5} ou alterações na dilatação da pupila⁶.

Cada trabalho experimental optou por analisar as alterações e influências cerebrais sobre um ou mais ramos da matemática. Os trabalhos 4, 6 e 7 analisaram problemas aritméticos, sendo seus focos de estudos: um estudo experimental que investigou se as imagens cerebrais

levando em conta a influência da idade, competência matemática e características da tarefa se modificam de acordo com o desempenho aritmético dos alunos (OBERSTEINER et al., 2010); investigaram quais os processos cognitivos envolvidos na contagem de grande numerosidade e perceberam que para adultos contar mais de cinco itens requer um forte envolvimento da atenção espacial e dos movimentos dos olhos, além de processos de magnitude numérica (ZAGO et al., 2010); e uma investigação sobre quais as áreas cerebrais ativadas e a dilatação da pupila em tarefas de multiplicação, concluindo que a dilatação na pupila pode ser usada para compreender as mudanças na aprendizagem e para identificar a discalculia (LANDGRAF et al., 2010).

Os trabalhos 8 e 9 lidaram com análises sobre o pensamento algébrico. Lee et al. (2010) examinaram a diferença entre os processos cognitivos utilizados por alunos que usam a álgebra simbólica ou modelos esquemáticos, obtendo resultados que sugerem que as soluções geradas a partir de representações simbólicas exigem maiores recursos gerais de processamento cognitivo e numérico do que os processos que envolvem representações de modelos. Já o trabalho de Thomas et al. (2010) observou a atividade cerebral enquanto os alunos transformam função na forma algébrica para a forma gráfica. Como implicações têm-se a importância de os professores focarem a atenção nas propriedades da função e a importância da integração da função gráfica e algébrica.

Tendo como foco a geometria, os trabalhos 10 e 11 discutiram, respectivamente, o controle intuitivo dos alunos em resolução de problemas sobre área e perímetro, criando situações de congruência e incongruência (STAVY; BABAI, 2010); e o acompanhamento durante 1 ano de uma tarefa de raciocínio analógico geométrico em estudantes do ensino médio com alta inteligência em fluidos (PREUSSE et al., 2010).

Por fim, tivemos um trabalho que utilizou de dois ramos da matemática, a álgebra e a geometria. Bornemann et al. (2010) investigaram como o desempenho matemático superior se relaciona com a quantidade de recursos cognitivos investidos para resolver uma determinada tarefa, comparando alunos com altas habilidades em matemática aos considerados dentro do padrão.

Como foi possível notar pelas informações dadas anteriormente, duas pesquisas tiveram como participantes alunos considerados com altas habilidades em matemática.

Os três últimos artigos, dessa edição especial, consistem em dois trabalhos avaliativos e reflexivos sobre todas as pesquisas publicadas na edição⁷ e um último artigo tratando-se de um glossário⁸, trazendo o significado de inúmeros termos específicos da área de neurociência cognitiva.

Como reflexões sobre as pesquisas e seus resultados, De Smedt e Verschaffel (2010) destacam que essa edição especial da ZDM apresentou que a neurociência cognitiva oferece

7 Artigos 12 e 13.

8 Artigo 14.

uma série de ferramentas, metodologias e teorias para investigar processos cognitivos que ocorrem durante o pensamento e o aprendizado matemáticos. Como na pesquisa educacional a abordagem mais comum se dá com base em dados comportamentais, as pesquisas em neurociência vêm para complementar e ampliar. Porém, os autores alertam que os estudos neurocientíficos existentes fizeram suas investigações sobre o desempenho matemático sem se aproximar e considerar o contexto educacional, que interfere e causa grande influência nos resultados. Daí a importância de se enfatizar isso para as pesquisas futuras.

Já o artigo de Grabner e Ansari (2010) dão um enfoque especial na relevância das populações de sujeitos, nas limitações metodológicas dos métodos utilizados de neuroimagem e nas questões teóricas relacionadas à relação entre os correlatos neurais já mais estudados do processamento de magnitude numérica e os processos neurais menos investigados subjacentes às habilidades matemáticas de nível superior, como raciocínio algébrico.

Fazendo essa mesma análise para a edição especial de 2016 intitulada “*Cognitive neuroscience and mathematics learning – revisited after five years*” temos que foram publicados treze artigos (Quadro 2), sendo um deles um *erratum*. O primeiro, de Smedt e Grabner (2016), trata-se de um editorial que objetivou apresentar como a pesquisa na interseção da neurociência cognitiva e o ensino de matemática está florescendo atualmente em comparação a cinco anos anteriores.

Quadro 2 – Artigos publicados na revista ZDM Volume 42, Issue 3, Junho de 2016

Nº e Título do artigo	Autores	Afiliações
1. Potential applications of cognitive neuroscience to mathematics education		a. Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação, Universidade de Lovaina, Bélgica b. Instituto de Psicologia, Universidade de Graz, Áustria
2. Measuring fraction comparison strategies with eye-tracking	Andreas Obersteiner ^a Christine Tumpek ^a	a. Escola de Educação, Universidade Técnica de Munique, Alemanha

3. EEG-based prediction of cognitive workload induced by arithmetic: a step towards online adaptation in numerical learning	Martin Spüler ^a Carina Walter ^a Wolfgang Rosenstiel ^a Peter Gerjets ^{b c} Korbinian Moeller ^{b c} Elise Klein ^{b d}	a. Departamento de Engenharia da Computação, Universidade Eberhard-Karls Tuebingen, Alemanha b. Leibniz-Institut für Wissensmedien, Alemanha c. Departamento de Psicologia, Universidade Eberhard-Karls Tuebingen, Alemanha d. Departamento de Neurologia, Universidade RWTH Aachen, Alemanha
4. Electrophysiological markers of newly acquired symbolic numerical representations: the role of magnitude and ordinal information	Rebecca Merkley ^a Andria Shimi ^a Gaia Scerif ^a	a. Departamento de Psicologia Experimental, Universidade de Oxford, Reino Unido
5. Exploring mental representations for literal symbols using priming and comparison distance effects	Courtney Pollack ^a Sibylla Leon Guerrero ^a Jon R. Star ^a	a. Harvard Graduate School of Education, EUA
6. Does solving insight-based problems differ from solving learning-based problems? Some evidence from an ERP study	Roza Leikin ^a Ilana Waisman ^{a b} Mark Leikin ^a	a. Faculdade de Educação, Universidade de Haifa, Israel b. Shaanan College, Israel
7. Brain activity associated with logical inferences in geometry: focusing on students with different levels of ability	Ilana Waisman ^{a b} Mark Leikin ^a Roza Leikin ^a	a. Faculdade de Educação, Universidade de Haifa, Israel b. Shaanan College, Israel
8. The neural correlates of health risk perception in individuals with low and high numeracy		a. Instituto de Psicologia, Universidade de Graz, Áustria b. Instituto de Decisões Ambientais, ETH Zúrique, Suíça c. Instituto de Psicologia, Universidade de Graz, Áustria d. Divisão de Neurorradiologia, Universidade Médica de Graz, Áustria
9. When errors count: an EEG study on numerical error monitoring under performance pressure	Frieder L. Schillinger ^{a b} Bert De Smedt ^c Roland H. Grabner ^b	a. Instituto de Psicologia, Universidade de Göttingen, Alemanha b. Departamento de Psicologia, Universidade de Graz, Áustria 1. c. Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação, Universidade de Lovaina, Bélgica

10. Erratum to: When errors count: an EEG study on numerical error monitoring under performance pressure	Frieder L. Schillinger ^{a, b} Bert De Smedt ^c Roland H. Grabner ^b	a. Instituto de Psicologia, Universidade de Göttingen, Alemanha b. Departamento de Psicologia, Universidade de Graz, Áustria c. Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação, Universidade de Lovaina, Bélgica
11. Comparison of perimeters: improving students' performance by increasing the salience of the relevant variable	Reuven Babai ^a Laura Nattiv ^a Ruth Stavy ^a	a. Departamento de Matemática, Universidade de Tel Aviv, Israel
12. Cognitive neuroscience and mathematics learning: how far have we come? Where do we need to go?	Daniel Ansari ^a Ian M. Lyons ^a	a. Departamento de Psicologia, Universidade de Western Ontario, Canadá
13. Neuroscientific studies of mathematical thinking and learning: a critical look from a mathematics education viewpoint	Lieven Verschaffel ^a Erno Lehtinen ^b Wim Van Dooren ^a	a. Universidade de Lovaina, Bélgica b. Universidade de Turku, Finlândia

Fonte: elaborado pelas autoras com informações obtidas através do endereço <https://link.springer.com/journal/11858/48/3>. Acesso em 26/11/2019.

Os outros trabalhos são compostos por nove artigos empíricos e dois comentários, cujos autores fizeram comparações com a publicação especial anterior.

Para realização dos experimentos, as pesquisas empíricas contaram com rastreamento ocular e tempo de reação⁹, EEG – Eletroencefalografia¹⁰, ERP^{11,12} e fMRI¹³.

Sobre os ramos da matemática temos que os trabalhos 2, 4, 8 e 9 fizeram análises com atividades de aritmética. As categorias de pares de frações para serem comparadas por adultos matematicamente qualificados foi o objeto de estudo de Obersteiner e Tumpek (2016). Como resultados notaram que os participantes se adaptaram às categorizações para responder, olhando componencialmente nos casos com mesmos numeradores ou denominadores e holisticamente para os casos com diferentes componentes. Merkley et al. (2016) utilizaram um paradigma artificial de aprendizado de símbolos para contrastar o aprendizado da magnitude numérica aproximada com o aprendizado da ordem numérica. Para investigar os correlatos neurais da percepção de risco à saúde, as respostas cerebrais de indivíduos com numeração baixa e alta foram medidas usando ressonância magnética funcional na pesquisa relatada por Vogel et al. (2016). Por fim, Schillinger et al. (2016) objetivaram monitorar a influência dos testes realizados sob alta e baixa pressão combinando medidas de desempenho comportamental com índices de eletroencefalografia (EEG) de monitoramento de respostas.

Utilizando a álgebra como protagonista tivemos o artigo de Pollack et al. (2016), que investigou a natureza das representações mentais para símbolos literais usando o efeito da distância inicial.

Os artigos que fizeram seus estudos com a geometria foram os 6, 7 e 11. Leikin et al. (2016) buscaram identificar quais são as semelhanças e diferenças no processamento matemático associadas à solução de problemas baseados na aprendizagem e na percepção. O processamento matemático associado à solução de curtos problemas de geometria que requerem inferência lógica foi examinado entre os alunos que diferem em seus níveis de superdotação geral e excelência em matemática, usando a metodologia de pesquisa ERP no artigo de Waisman et al. (2016). A pesquisa detalhada no artigo de Babai et al. (2016) realizou tarefas de comparações de perímetros utilizando palitos (forma discreta) e na forma contínua. Os resultados mostram que o sucesso no modo discreto foi maior do que no modo contínuo. Além disso, o sucesso no modo contínuo aumentou como resultado da intervenção. O estudo sugere que alterar o modo ou a ordem da apresentação pode servir como uma ferramenta educacional que pode melhorar o desempenho dos alunos.

Spüler et al. (2016), sem especificar uma área matemática específica, objetivaram identificar a carga de trabalho cognitiva dos alunos induzida por tarefas adicionais de dificuldade variável usando a eletroencefalografia (EEG).

Nessa edição os participantes das pesquisas com características especiais ganharam mais destaque. O artigo 2 teve como participantes adultos especialistas em matemática e o artigo 5 adultos no nível superior de ensino. Trabalharam com alunos com alta habilidade em matemática as pesquisas dos artigos 6 e 7 e, a relatada no artigo 8 trabalhou com pessoas de alta e baixa numeracia.

Para concluir a edição especial dois artigos foram desenvolvidos. Ansari e Lyons (2016) analisaram quais as evoluções dos aspectos apontados em 2010 foram refletidas nessa nova edição. Áreas de progresso foram identificadas, bem como questões que continuam a exigir pesquisa adicional e inovação metodológica para avançar ainda mais. Já Verschaffel, Lehtinen e Van Dooren (2016) se dedicaram a examinar criticamente os vários estudos relatados nessa edição sobre a relação entre neurociência cognitiva e matemática, do ponto de vista da Educação Matemática. Após uma discussão das contribuições individuais eles apontam algumas advertências gerais que devem ser consideradas em pesquisas futuras.

Fazendo um apanhado geral, essas duas edições da revista puderam contar com 27 artigos escritos por 75 diferentes autores, dentre os quais 10 participaram da escrita de dois diferentes artigos. Destacam-se na área por participarem como autores de mais de dois artigos os pesquisadores Daniel Ansari e Elke van der Meer com três publicações cada, Bert De Smedt com cinco diferentes publicações e Roland H. Grabner por participar de seis artigos.

Quanto aos países onde estão concentradas as pesquisas destaca-se, substancialmente

dentre as demais a Alemanha, na qual os centros de pesquisas ou universidades de 25 autores estão localizados. Em segundo lugar temos a França com 7 pesquisadores, em terceiro a Áustria, Israel e Singapura com 6, seguidos de Suíça, Reino Unido, Estados Unidos e Nova Zelândia com 5 autores, Bélgica com 3, Finlândia e Canadá com 2 e, finalizando, Austrália com um pesquisador.

Além da revista ZDM, outro importante canal de divulgação das principais pesquisas que estão sendo desenvolvidas em torno da Educação Matemática é o Congresso Internacional em Educação Matemática – ICME. O último encontro entre os principais pesquisadores do mundo da área de Educação Matemática ocorreu em Hamburg no ano de 2016. O 13º ICME contou com palestras, estudos em grupo, workshops e discussões de temas específicos em grupo. Sobre o tema discutido nesse artigo tivemos o TSG¹⁴ 27 – *Learning and cognition in mathematics*, o grupo de estudo “*Mathematics Education and Neuroscience*” e a palestra de Rosa Leinkin intitulada “Como pode a neurociência cognitiva contribuir para o ensino de matemática? Ponte das duas áreas de pesquisa” (tradução nossa).

O TSG 27 foi coordenado por Gaye Williams¹⁵, Wim Van Dooren¹⁶. Em um compilado que esses pesquisadores fizeram sobre o grupo, eles relatam o quanto as pesquisas sobre aprendizado e cognição matemática têm se expandido nos últimos trinta anos e agora são frequentemente conectadas com teorias socioculturais, sociais e cognitivas. Além disso, influências de materiais, sala de aula, contextos e fatores afetivos, como emoções, crenças e atitudes sobre aprendizado e cognição tornaram-se focos de interesse.

O TSG 27 contou com quatro seções que se iniciaram com a fala de um convidado orador seguido da apresentação de vários trabalhos.

O foco principal da primeira sessão foi o desenvolvimento da cognição matemática em cada aluno, focando nos aspectos cognitivos da aprendizagem e cognição em matemática. Quem foi o orador convidado para essa sessão foi Erno Lehtinen¹⁷. Ele mostrou como a análise cognitiva no nível individual ajuda a entender as trajetórias de aprendizado, as mudanças cruciais e os diferentes processos. Entender essas diferenças em como as crianças aprendem e entendem números naturais ajudam no preparo para as mudanças conceituais necessárias na aprendizagem de números racionais. Os dois trabalhos subsequentes focaram em um sub-aspecto dessa palestra: a compreensão do número racional dos alunos por Jo Van Hoof¹⁸ e as dificuldades experimentadas no desenvolvimento dessa compreensão por David Maximiliano Gomes¹⁹. Nos dois casos foram encontrados vieses dos números naturais e elencadas diferenças

14 TSG é a sigla para Topic Study Group.

15 Universidade Deakin, Austrália.

16 Universidade de Leuven, Bélgica.

17 Universidade de Turku, Finlândia.

18 Universidade de Lovaina, Bélgica.

19 Universidade do Chile, Chile.

cruciais entre o aprendizado dos alunos. Ambas trazem contribuições para novas pesquisas e para as práticas de ensino, devido ao seu potencial de expor padrões de erros comuns.

O objetivo da segunda sessão foi ampliar o escopo da cognição matemática para um processo situado distribuído por indivíduos e objetos. Dor Abrahamson²⁰, o orador convidado, enfocou a conceitualização da mente como atividade incorporada, estendida e ativa em ecologias naturais e socioculturais. Ele mostrou como as experiências dinâmicas imersivas dos alunos são formuladas dentro de registros semióticos do discurso matemático. Ele foi seguido por Anke Lindmeier²¹ que focou em representações estruturadas por modelos mentais para números inteiros, usando o rastreamento ocular. Tine Degrande²² falou sobre até que ponto as crianças se concentram espontaneamente nas relações quantitativas (tarefas de adição e multiplicação) e a natureza desse foco quantitativo.

A terceira sessão amplia o foco para fatores pessoais e ambientais que influenciam o aprendizado dos alunos. Na abertura feita por Judy Anderson²³, foi apresentada uma pesquisa que empregou métodos de pesquisa qualitativa e quantitativa, estudando a motivação e engajamento do aluno, atitudes, ambiente da sala de aula, desempenho do aluno e seu comportamento de “switching on” e “switching of”, que faz associação com a atenção: “ligar” e “desligar”. Os outros dois trabalhos desta sessão examinaram maneiras pelas quais os alunos processam o aprendizado. Miguel Figueirado²⁴ estudou componentes que constroem estilos de aprendizagem para a matemática. Suas descobertas confirmaram dois estilos de aprendizagem identificados anteriormente na literatura: aprendizado orientado para o significado e orientado para a reprodução. Verificou-se que os alunos orientados para o significado tendem a ser mais bem-sucedidos do que os orientados para a reprodução. Bishnu Khanal²⁵ descobriu que os alunos que estudavam matemática no ensino médio no Nepal tinham dificuldades em entender a investigação e a generalização de situações matemáticas. Análises quantitativas e qualitativas foram empregadas. O estudo levanta questões sobre se essas dificuldades se devem à ineficácia das estratégias de aprendizagem empregadas pelos alunos.

A sessão final enfocou influências sociais e contextuais na aprendizagem. Minoru Ohtani²⁶ empregou uma tarefa para envolver adolescentes lidando com os temas de função com tabelas numéricas, expressões algébricas e gráficos. As implicações para o ensino e a aprendizagem foram consideradas significativas. P Janelle McFeetors²⁷ usou um estudo teórico construtivista para estudar como alunos moldaram ativamente seus processos de aprendizagem

20 Universidade de Berkeley, EUA.

21 Universidade de Kiel, Alemanha.

22 Universidade de Leuven, Bélgica.

23 Universidade de Sydney, Austrália.

24 Universidade de Lisboa, Portugal.

25 Universidade de Tribhuvan, Nepal.

26 Universidade de Kanazawa, Japão.

27 Universidade de Alberta, Canadá.

através da maneira como abordavam a lição de casa e estudavam para os testes. Ela descobriu que os alunos estavam criando processos de aprendizagem, criando ideias matemáticas e autoautoria quando começaram a se ver como aprendizes matemáticos capazes. Gaye Williams examinou a atividade de um grupo de três alunos que realizou uma tarefa desconhecida de resolução de problemas matemáticos nas aulas.

Outra atividade realizada no 13º ICME foi o Grupo de Discussão. Esses grupos foram projetados para reunir participantes do congresso que estivessem interessados em discutir assuntos distintos dos abordados nos TSG. O grupo “*Mathematics Education and Neuroscience*” foi coordenado por Roland H. Grabner, Andreas Obersteiner, Bert De Smedt e Stephan Vogel²⁸.

O objetivo desse grupo de discussão foi reunir neurocientistas, psicólogos e educadores de matemática e discutir as chances e limitações da pesquisa em neurociência educacional sobre tópicos selecionados do ensino de matemática.

Michael von Aster²⁹, com base em suas descobertas em uma pesquisa neurocientífica, criou um jogo de computador desenvolvido especificamente para melhorar a compreensão das magnitudes numéricas das crianças discalculicas.

Hans-Christoph Nuerk³⁰, apresentou estudos de imagem cerebral que descobriram que existe uma ligação neural entre as representações numéricas e a gnose dos dedos, sugerindo que representações numéricas baseadas nos dedos são benéficas para o desenvolvimento numérico. Essa descoberta tem implicações potenciais para o ensino de matemática, em que muitos pesquisadores e professores não apoiam as crianças no uso dos dedos para resolver problemas aritméticos.

Roza Leikin apresentou pesquisas que relatam que a solução eficiente de problemas está relacionada a uma diminuição geral e não ao aumento da ativação cerebral. Usando diferentes tipos de problemas matemáticos complexos, ela explorou os padrões de ativação cerebral em estudantes com habilidades matemáticas distintas.

As pesquisas apresentadas fizeram o grupo concluir que embora o objetivo da neurociência não seja fornecer sugestões imediatas para a prática em sala de aula, ela pode ajudar a entender melhor os mecanismos cognitivos subjacentes à solução de problemas matemáticos.

Por fim, a última atividade no congresso que se relacionou com o tema desse artigo foi uma palestra proferida por Rosa Leikin. A pesquisadora publicou um artigo com o assunto abordado na palestra que foi publicado nos anais do 13º ICME. Em seu artigo ela descreve estudos neurocognitivos que se concentram no processamento matemático, na busca por demonstrar como as duas áreas podem interagir (LEIKIN, 2016).

Segundo a autora,

28 Universidade Karl Franzens Graz, Áustria.

29 Universidade de Zirich, Suíça.

30 Universidade de Tübingen, Alemanha.

o ensino da matemática pode contribuir para as etapas do desenho da pesquisa, enquanto a neurociência pode validar teorias no ensino da matemática e avançar na interpretação dos resultados da pesquisa. Para que essa integração seja bem-sucedida, é crucial a colaboração entre educadores de matemática e neurocientistas (LEIKIN, 2016, p. 363, tradução nossa).

As discussões na tentativa de aproximar a Educação Matemática à neurociência cognitiva tiveram tanta repercussão no evento que no próximo ICME, o qual ocorrerá em 2020, em Shangai, na China, haverá um TSG somente para discutir as relações entre a neurociência e a Educação Matemática. Esse grupo será o TSG 21 – *Neuro Science and mathematics education/ Cognitive*.

Nota-se que esse é um evento importante para a Educação Matemática e que há pesquisadores de diversas partes do mundo buscando a intersecção entre as áreas da Neurociência Cognitiva e da Educação Matemática. Tivemos no 13º ICME vinte e três pesquisadores falando com destaque sobre suas pesquisas nessa temática, originários de treze diferentes países. A Bélgica foi representada por quatro pesquisadores, a Alemanha por três, Austrália, Canadá, Chile e Suíça por dois pesquisadores e Israel, Áustria, EUA, Finlândia, Japão, Nepal e Portugal se fizeram presentes por um pesquisador.

No Brasil, as pesquisas nesse ramo ainda estão em fase inicial. Em um levantamento feito, pôde-se perceber que o número de trabalhos que investigaram essa temática é extremamente reduzido e que os mesmos passaram a existir a partir de 2015.

O que se pode perceber é que como se trata de uma área nova no Brasil, crescente na última década, e interdisciplinar, é preciso a junção de pesquisadores da área da Educação Matemática e da área da neurociência, como neurocientistas e psicólogos, de forma a juntos, poderem realizar pesquisas e produzir resultados que gerem um conhecimento suficientemente embasado e sustentado pelas duas áreas. Dessa forma, poderíamos contribuir substancialmente para novas metodologias de ensino que favoreçam o aprendizado de matemática, utilizando as potencialidades das teorias já aceitas e institucionalizadas na área da didática da matemática, juntamente ao conhecimento biológico do nosso cérebro para o aprendizado de algum conteúdo.

Nesse entendimento há um campo aberto de informações que ainda precisam ser obtidas, abrindo espaço para novas pesquisas, como: a forma como o cérebro desenvolve o raciocínio lógico-matemático; a forma como se ensina alguns conteúdos de matemática; a postura dos alunos frente ao desafio de aprender matemática; a forma de diagnosticar alunos com discalculia ou com superdotação e como proceder no ensino frente aos mesmos; cursos de formação docente, inicial ou continuada, pensando em como fazer chegar os conhecimentos da neurociência cognitiva aos professores e futuros professores, dentre outros.

Porém, vale ressaltar que não se pode tentar resolver e melhorar as dificuldades enfrentadas no ensino e aprendizagem de matemática sem escutar quem está na prática.

4 Conclusões

É possível perceber, por meio das informações coletadas e apresentadas anteriormente, que há uma emergência na descoberta de novas informações sobre o funcionamento do cérebro enquanto ocorre a aprendizagem matemática e, ao mesmo tempo, a área de Educação Matemática tem aberto espaço para novas discussões acerca do que as pesquisas em Neurociência Cognitiva têm desenvolvido. A tentativa desse diálogo vem ocorrendo desde o início da última década, em que um importante periódico da área de Educação Matemática, a ZDM, lançou duas edições que objetivaram apresentar pesquisas em neurociência que investigam a aprendizagem matemática e a evolução desses estudos com o passar dos anos.

Em um dos mais importantes eventos internacionais da área de Educação Matemática, o ICME de 2016, a participação de psicólogos e neurocientistas instigaram novas discussões no campo, abrindo espaço para um grupo de estudo de Neurociência e Educação Matemática e de uma palestra sobre o tema. As discussões no evento foram consideradas tão profícuas que ficou definido para o próximo ICME, que ocorrerá em Shanghai em 2020, o grupo TSG 21 – *Neuro Science and mathematics education/Cognitive*.

Percebe-se uma abertura inicial da Educação Matemática internacional para as discussões que interagem essas duas áreas de estudo na última década. Com as novas tecnologias e o avanço das pesquisas, entende-se que será necessária, cada vez mais, a interação dos pesquisadores de ambos os domínios de forma a não deixarem “buracos” em seus estudos, por não dominarem uma ou outra área. Nas pesquisas divulgadas neste trabalho percebe-se ainda a predominância de pesquisadores da área de Neurociência Cognitiva em detrimento dos educadores matemáticos. Porém, com a abertura dos principais meios de divulgação científica internacional, é de se esperar que cada vez mais educadores matemáticos tenham conhecimento das discussões que estão sendo feitas e passem a participar de forma efetiva.

No Brasil essas discussões comuns as duas áreas ainda estão em fase inicial, havendo a expectativa por parte das autoras desse trabalho de que se tornem cada vez mais frequentes. Afinal, o que se almeja é que cada vez mais se produzam conhecimentos significativos que possam auxiliar o processo de ensino e aprendizagem e que eles cheguem a todos os envolvidos no processo educacional, especialmente os professores.

Será que esses conhecimentos serão produzidos e divulgados? Será que os educadores matemáticos saberão o suficiente sobre a fisiologia do cérebro e neurofisiologistas o suficiente de descoberta matemática para uma cooperação eficiente ser possível?

Essas perguntas nos levam a pensar que cada vez mais devemos buscar a interdisciplinaridade e o trabalho conjunto entre os neurocientistas, psicólogos e educadores matemáticos, de forma a não deixar que os conhecimentos produzidos fiquem incompletos por

faltar informações especializadas de cada área.

Esperamos com esses estudos que estão por vir que, mesmo não podendo alterar a arquitetura do nosso cérebro, possamos adaptar nossos métodos de ensino às limitações de nosso sistema biológico. Os currículos de matemática não são imutáveis, muito menos perfeitos. Seu único objetivo deve ser para melhorar a fluência das crianças na matemática, não perpetuar um ritual. As tecnologias são apenas alguns dos caminhos promissores que os educadores podem começar a explorar. Devemos produzir conhecimentos que possam ajudar os professores a entender o funcionamento do cérebro no processo da aprendizagem e, quem sabe, possamos adaptar e criar metodologias de ensino que auxiliem o professor e o aluno na aquisição e construção do conhecimento matemático.

Referências

ANSARI, D.; LYONS, I.M. Cognitive neuroscience and mathematics learning: how far have we come? Where do we need to go? **ZDM Mathematics Education**, v. 48, p. 379-383, 2016.

BABAI, R.; NATTIV, L.; STAVY, R. Comparison of perimeters: improving students' performance by increasing the salience of the relevant variable. **ZDM Mathematics Education**, v. 48, p. 367-378, 2016.

BORNEMANN, B.; FOTH, M., HORN, J. et al. Mathematical cognition: individual differences in resource allocation. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, p. 555-567, 2010.

BUTTERWORTH, B.; LAURILLARD, D. Low numeracy and dyscalculia: identification and intervention. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, p.527-539, 2010.

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

DANTZIK, T. **Number: the language of Science**. New York: Pri Prees, 2005.

DEHAENE, S. **The number sense: how the mind creates mathematics**. Oxford University Press, 1997.

DE SMEDT, B. de.; VERSCHAFFEL, L. Traveling down the road: From cognitive neuroscience to mathematics education ... and back. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, p. 649-654, 2010.

DE SMEDT, B.; GRABNER, R.H. Potential applications of cognitive neuroscience to mathematics education. **ZDM Mathematics Education**, v. 48, p. 249-253, 2016.

LANDGRAF, S.; VAN DER MEER, E.; Krueger, F. Cognitive resource allocation

for neural activity underlying mathematical cognition: a multi-method study. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, p. 579-590, 2010.

LEE, K.; YEONG, S.H.M.; NG, S.F.; et al. Computing solutions to algebraic problems using a symbolic versus a schematic strategy. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, 2010, p. 591-605.

LEIKIN, R.; WAISMAN, I.; LEIKIN, M. Does solving insight-based problems differ from solving learning-based problems? Some evidence from an ERP study. **ZDM Mathematics Education**, v. 48, p. 305-319, 2016.

LEIKIN, R. How Can Cognitive Neuroscience Contribute to Mathematics Education? Bridging the Two Research Areas. In: KAISER, G. et al. (eds.). **Invited Lectures from the 13th International Congress on Mathematical Education, ICME-13 Monographs**, Springer, p.363-384, 2018.

GRABNER, R.H.; ANSARI, D. Promises and potential pitfalls of a ‘cognitive neuroscience of mathematics learning’. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, p. 655-660, 2010a.

GRABNER, R.H.; ANSARI, D.; DE SMEDT, B.; et al. Glossary of technical terms in cognitive neuroscience. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, p. 661-663, 2010b.

GRABNER, R. H.; OBERSTEINER, A.; DE SMEDT, B.; VOGEL, S.; ASTER, M. V.; LEIKIN R.; NUERK, H. Mathematics Education and Neuroscience. In: KAISER, G. (ed.), **Proceedings of the 13th International Congress on Mathematical Education, ICME-13 Monographs**. Springer, p. 657-658, 2017.

MAIO, de W.; CHIUMMO, A. **Didática da Matemática**. Rio de Janeiro: LTC, 2012. (Coleção Fundamentos de Matemática)

MENON, V. Developmental cognitive neuroscience of arithmetic: implications for learning and education. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, p. 515-525, 2010.

MERKLEY, R.; SHIMI, A.; SCERIF, G. Electrophysiological markers of newly acquired symbolic numerical representations: the role of magnitude and ordinal information. **ZDM Mathematics Education**, v. 48, p. 279-289, 2016.

OBERSTEINER, A., DRESLER, T., REISS, K. et al. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, p. 541-554, 2010.

OBERSTEINER, A.; TUMPEK, C. Measuring fraction comparison strategies with eye-tracking. **ZDM Mathematics Education**, v. 48, p. 255-266, 2016.

POLLACK, C.; LEON GUERRERO, S.; STAR, J.R. Exploring mental representations for literal symbols using priming and comparison distance effects. **ZDM Mathematics Education**, v. 48, p. 291-303, 2016.

PREUSSE, F.; VAN DER MEER, E.; ULLWER, D.; et al. Long-term characteristics of analogical processing in high-school students with high fluid intelligence: an fMRI study. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, p. 635-647, 2010.

SCHILLINGER, F.L.; DE SMEDT, B.; GRABNER, R.H. When errors count: an EEG study on numerical error monitoring under performance pressure. **ZDM Mathematics Education**, v. 48, p. 351-363, 2016.

SCHILLINGER, F.L.; DE SMEDT, B.; GRABNER, R.H. Erratum to: When errors count: an EEG study on numerical error monitoring under performance pressure. **ZDM Mathematics Education**, v. 48, p. 365-365, 2016.

SPÜLER, M.; WALTER, C.; ROSENSTIEL, W.; et al. EEG-based prediction of cognitive workload induced by arithmetic: a step towards online adaptation in numerical learning. **ZDM Mathematics Education**, v. 48, p. 267-278, 2016.

STAVY, R.; BABAI, R. Overcoming intuitive interference in mathematics: insights from behavioral, brain imaging and intervention studies. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, p. 621-633, 2010.

STERN, E.; SCHNEIDER, M. A digital road map analogy of the relationship between neuroscience and educational research. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, p. 511-514, 2010.

THOMAS, M.O.J.; WILSON, A.J.; CORBALLIS, M.C.; et al. Evidence from cognitive neuroscience for the role of graphical and algebraic representations in understanding function. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, p. 607-619, 2010.

VERSCHAFFEL, L.; LEHTINEN, E.; VAN DOOREN, W. Neuroscientific studies of mathematical thinking and learning: a critical look from a mathematics education viewpoint. **ZDM Mathematics Education**, v. 48, p. 385-391, 2016.

VOGEL, S.E.; KELLER, C.; KOSCHUTNIG, K.; et al. The neural correlates of health risk perception in individuals with low and high numeracy. **ZDM Mathematics Education**, v. 48, p. 337-350, 2016.

WAISMAN, I.; LEIKIN, M.; LEIKIN, R. Brain activity associated with logical inferences in geometry: focusing on students with different levels of ability. **ZDM Mathematics Education**, v. 48, p. 321-335, 2016.

ZAGO, L.; PETIT, L.; MELLET, E. et al. Neural correlates of counting large numerosity. **ZDM Mathematics Education**, v. 42, p. 569-577, 2010.

WILLIAMS, G; VAN DOOREN, W.; DARTNELL, P.; LINDMEIER, A; PROULX, J. Topic Study Group No. 27: Learning and Cognition in Mathematics. In: KAISER, G. (ed.), **Proceedings of the 13th International Congress on Mathematical Education, ICME-13 Monographs**. Springer, p. 501-505, 2016.

Data de Submissão: 08/01/2020

Data de Aceite: 08/03/2020