



ESTUDO DOS CORRELATOS NEURAISS ASSOCIADOS À RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO A RELAÇÃO ENTRE FORÇA E MOVIMENTO COM TÉCNICAS DE NEUROIMAGEM

Palavras-Chave: Neurociência, fNIRS, Problemas de Física

Autores:

LUCAS F. TEODOSIO, IFGW – UNICAMP

L. F. BORTOLETTO (LFBORT@IFI.UNICAMP.BR), IFGW - UNICAMP

GIOVANI G. MARTINS (GGRISOTI@IFI.UNICAMP.BR), IFGW - UNICAMP

VICTOR SANCHEZ (VSANCHEZ@IFI.UNICAMP.BR), IFGW - UNICAMP

PEDRO G. S. MARTINI (P186344@DAC.UNICAMP.BR), IFGW - UNICAMP

PROF. DR. RICKSON C. MESQUITA (orientador), IFGW - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Os processos de ensino-aprendizado procuram descrever estratégias de ensino que resultem no aprendizado de alunos. O desenvolvimento de novas estratégias tem sido particularmente discutido nas áreas STEM (do inglês, *Science, Technology, Engineering and Mathematics*), dada a baixa eficiência na aprendizagem de conceitos envolvidos nestas áreas pelos alunos. Para o avanço dessa discussão, no entanto, é importante se ter uma melhor compreensão sobre como os alunos aprendem conceitos abstratos.

A possibilidade de visualizar e monitorar a atividade cerebral de forma não invasiva com técnicas de neuroimagem — como a ressonância magnética funcional (fMRI), eletroencefalografia (EEG) e a espectroscopia funcional por infravermelho próximo (fNIRS) — pode contribuir de forma significativa para o entendimento da aprendizagem. O século XX foi marcado por muitas teorias e observações comportamentais a respeito da aprendizagem. Apesar disso, pouco se sabe sobre os processos neurais subjacentes de como os conceitos científicos são acessados, desenvolvidos e racionalizados pelos estudantes (BARTLEY et al., 2019).

A montagem de protocolos experimentais pouco flexíveis (geralmente retirando o contexto social, fundamental para a aprendizagem), o alto custo dos mesmos e a baixa relação sinal/ruído das técnicas de neuroimagem estão entre as principais dificuldades em coletar informações acerca dos correlatos neurais. Entretanto, no decorrer da última década, vários desses desafios foram minimizados. No contexto atual, a fabricação de dispositivos microeletrônicos e optoeletrônicos tem avanços que já

permitem a miniaturização de equipamentos de fNIRS leves, vestíveis e relativamente baratos. A portabilidade possibilita a utilização dessa técnica em experimentos de validade ecológica, sem retirar o contexto do protocolo experimental (QUARESIMA; FERRARI, 2019).

Particularmente, consideramos o entendimento acerca do aprendizado de conceitos tipicamente estudados em disciplinas de Física básica como muito relevante por se apresentar como um desafio para um grande número de indivíduos. De acordo com Mason e Just (2016), apesar de pouco explorados no contexto dos processos de ensino-aprendizagem, sistemas cerebrais inerentes e reaproveitados deveriam ser utilizados durante a assimilação de conceitos científicos abstratos (como momento, força, energia, entre outros). Utilizando técnicas de neuroimagem, há estudos que sugerem que a resolução de problemas — fortemente ligada ao ensino-aprendizado de ciências da natureza — engaja uma extensa área do córtex frontoparietal, muito comum em atividades de cognição superior que exigem atenção sustentada, memória, linguagem e raciocínio lógico (BARTLEY et al., 2018; RIEKKI et al., 2018). Vale destacar que essas redes são acessíveis com o uso de sistemas de fNIRS vestíveis sem retirar muito do contexto social, embora pouquíssimos trabalhos tenham sido feitos nessas condições.

OBJETIVOS:

Diante desse contexto, o presente projeto buscou explorar o potencial de fNIRS para a compreensão sobre o que acontece no cérebro de estudantes quando eles estão resolvendo problemas envolvendo conceitos científicos abstratos. Para isso, monitoramos a atividade cerebral de estudantes de graduação com fNIRS, enquanto eles responderam um questionário envolvendo questões conceituais fundamentais sobre força e movimento dos objetos.

METODOLOGIA:

Protocolo Experimental

Recrutamos 6 estudantes do ensino superior (4 homens e 2 mulheres) com idades de 17 a 37 anos [média (desvio-padrão) = 23 anos (7)]. Todos os participantes da pesquisa responderam um teste previamente validado para avaliar o nível de conhecimento acerca do conceito de força e da descrição dos movimentos dos objetos de acordo com as leis de Newton (FERNANDES, 2011). O teste contém 29 problemas, sendo a grande maioria adaptada do Force Concept Inventory, ou FCI (HESTENES; WELLS; SWACKHAMER, 1992). Durante a resolução dos problemas, os estudantes verbalizaram como chegaram ao resultado em voz alta, e todo o processo foi gravado para análises posteriores. Os dados corticais foram coletados durante todo o procedimento através de um equipamento de fNIRS. As participações na pesquisa ocorreram no Laboratório de Física Médica do Hospital de Clínicas (HC) da

UNICAMP. Todos os métodos e procedimentos empregados nesta pesquisa não são invasivos e não representam riscos para os participantes e pesquisadores, estando plenamente de acordo com os princípios enunciados na Redação de Helsínki II de 20 de agosto de 1947. O protocolo foi realizado dentro de um projeto de pesquisa previamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UNICAMP (CAAE: 47636821.5.0000.5404), e todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido para a coleta dos dados.

Medidas de fNIRS

Um sistema comercial de ondas contínuas disponível no Laboratório de Óptica Biomédica (LOB) foi usado para as medidas de fNIRS (NIRScout, NIRx Medical Systems, Alemanha). O sistema tem 16 fontes de luz (cada fonte de luz tem LEDs com 2 comprimentos de onda diferentes, 760 nm e 850 nm) e 32 detectores de luz. Acoplamos as fibras ópticas ao longo da cabeça dos participantes com o uso de uma touca. O arranjo óptico foi desenhado a fim de otimizar o número de pares fontes-detector (tipicamente chamado de canais) com finalidade de fornecer uma boa cobertura de todas as principais regiões cerebrais que envolvem a realização de tarefas cognitivas. Ao todo, foram coletados dados de 74 canais, sendo 6 deles canais dedicados a coletar informações da fisiologia global, de origem não cerebral.

Análise de Dados

A análise de dados foi feita principalmente em MatLab (Mathworks, Inc.), através de uma biblioteca desenvolvida previamente no laboratório e de códigos produzidos. Inicialmente, é realizada uma etapa de pré-processamento, na qual é feita a: eliminação de canais ruins (isto é, canais com razão sinal/ruído da intensidade detectada < 8); correção de artefatos de movimento eventualmente presentes nos dados; conversão da intensidade medida para a concentração de oxi-hemoglobina (HbO) e deoxi-hemoglobina (HbR) através da lei de Beer-Lambert modificada (NOVI JUNIOR, 2022), e; filtragem dos dados na região de interesse para a resposta hemodinâmica cerebral esperada (0.003 – 0.5 Hz).

A determinação da atividade cerebral relacionada ao estímulo de resolução de problemas foi feita utilizando um modelo linear geral (GLM, do inglês, *General Linear Model*). Para isso, os dados filtrados de cada hemoglobina foram modelados como uma soma de contribuições da hemodinâmica cerebral e da fisiologia global, e uma regressão linear foi utilizada para a identificação dos canais com uma contribuição da hemodinâmica significativa ($p \leq 0.05$). Canais nos quais tanto HbO quanto HbR mostraram uma contribuição significativa foram considerados ativados durante a resolução da tarefa.

RESULTADOS:

A Figura 1 mostra as áreas cerebrais ativadas em cada participante durante a resolução dos 29 problemas. Nesta figura, observa-se claramente ativação nas áreas do frontal (participantes 1, 2, 4 e 6); lobo parietal superior (participantes 1, 4, 5 e 6); no giro pós-central (participantes 1, 2 e 4); giro angular (participante 4); e giro pré-central (participante 5). O qual é consistente com o esperado na literatura (BARTLEY et al., 2018; RIEKKI et al., 2018).

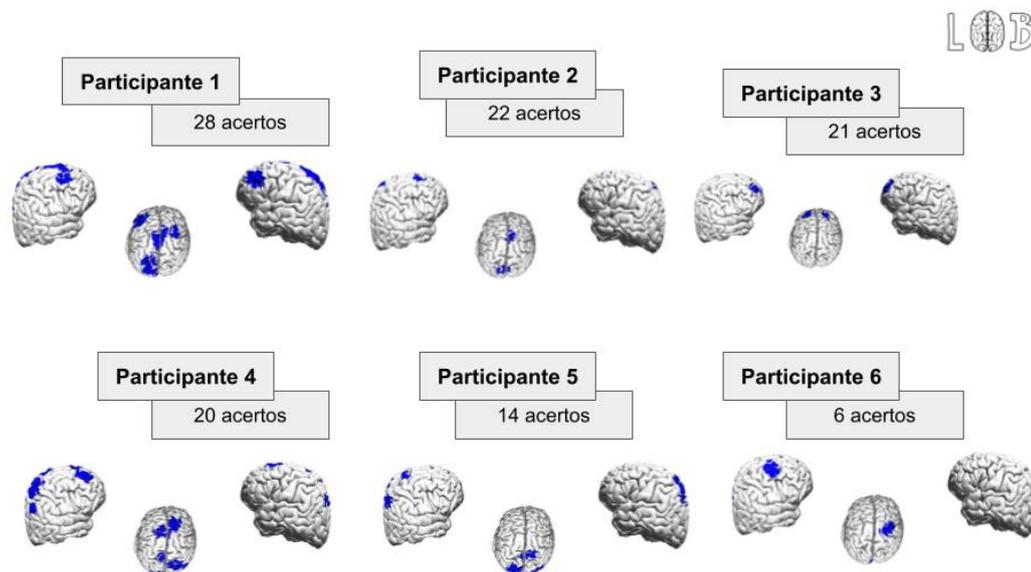


Figura 1: Ativações no cérebro por participante com número de acertos do questionário de Física.

CONCLUSÕES:

Com as ativações corticais encontradas, podemos inferir que é possível monitorar a atividade cerebral com fNIRS enquanto estudantes respondem um questionário de Física. Além disso, com um número maior de participantes, vamos poder tirar conclusões mais concretas acerca da relação entre atividade cerebral e o número de acertos no questionário respondido. No futuro, pretendemos analisar a diferença entre os erros e os acertos realizados por cada participante, além de relacionar os achados de neuroimagem com a análise do discurso coletada durante o protocolo experimental.

BIBLIOGRAFIA:

BARTLEY, Jessica E. et al. Brain activity links performance in science reasoning with conceptual approach. **npj Science of Learning**, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2019.

BARTLEY, Jessica E. et al. Meta-analytic evidence for a core problem solving network across multiple representational domains. **Neuroscience & biobehavioral reviews**, v. 92, p. 318-337, 2018.

FERNANDES, Simone Aparecida. **Um estudo sobre a consistência de modelos mentais sobre mecânica de estudantes do ensino médio.** Tese de Doutorado, Belo Horizonte, MG, 2011.

FERRARI, Marco; QUARESIMA, Valentina. A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and Fields of application. **NeuroImage**, v. 63, p. 921-935, 2012.

HESTENES, David; WELLS, Malcolm; SWACKHAMER, Gregg. Force concept inventory. **The Physics Teacher**, v. 30, n. 3, p. 141-158, 1992.

NOVI JUNIOR, Sérgio Luiz. **Investigation of functional neuroplasticity in the human brain with nearinfrared spectroscopy.** Tese de Doutorado, Campinas, SP, 2022.

QUARESIMA, Valentina; FERRARI, Marco. Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for assessing cerebral cortex function during human behavior in natural/social situations: a concise review. **Organ. Res. Methods**, v. 22, p. 46-68, 2019.

RIEKKI, Tapani et al. Intuitive physics ability in systemizers relies on differential use of the internalizing system and long-term spatial representations. **Neuropsychologia**, v. 109, p. 10-18, 2018.