**UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE**

**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS**

ROGÉRIO DE OLIVEIRA

**Aplicação da espectroscopia funcional de infravermelho próximo (fNIRS) no desenho de materiais educacionais**

**São Paulo**

**2021**

ROGÉRIO DE OLIVEIRA

**Aplicação da espectroscopia funcional de infravermelho próximo (fNIRS) no desenho de materiais educacionais**

Trabalho de Aplicação do Conhecimento apresentado à Universidade Presbiteriana Mackenzie como requisito para aprovação no componente curricular Trabalho de Aplicação do Conhecimento (TAC).

**Professor: Ma. RUTH IZABEL VASC LYRA ROMERO ESPINOSA**

**São Paulo**

**2021**

**RESUMO**

1. **INTRODUÇÃO** 
   1. **Fundamentação teórica**

Definir práticas de ensino mais adequadas para o aprendizado a partir do conhecimento da atividade do cérebro é a umas das promessas da neurociência educacional, um campo interdisciplinar que busca combinar neurociência, psicologia e educação para entender os processos cognitivos e emocionais de aprendizagem e apontar novas e melhores práticas (ANSARI, D., DE SMEDT, B., GRABNER, R. H., 2011). Particularmente ANSARI et. al (2011) apontam para o potencial das modernas técnicas de neuroimagem como ferramentas para o diagnóstico e medida de intervenções educacionais. Esses métodos permitem obter ‘insights’ mais detalhados dos processos cognitivos, e o conhecimento das bases neurais e cognitivas ajudarão a definir melhores ambientes e materiais de aprendizagem. Tal abordagem permite que as estratégias educacionais sejam baseadas em dados, em evidências, e podem ainda permitir o surgimento de abordagens inovadoras (BROCKINGTON, G. et. al., 2018).

Para entender como esse conhecimento pode ajudar a definir práticas educacionais consideremos o resultado de GRABNER, R. H. et al. (2009). O estudo aponta que diferentes estratégias de solução de um problema levam a maior ativação de diferentes áreas do cérebro. Por exemplo, uma estratégia de processual de solução, caso em que o indivíduo resolve o problema dividindo-o em fases menores, leva a uma maior ativação da região fronto-parietal do cérebro enquanto estratégias de recuperação, em que o sujeito simplesmente ‘sabe a resposta’, ativam mais as áreas do giro angular esquerdo. Assim, um objeto de aprendizagem, por exemplo um exercício de cálculo em que se espera desenvolver a capacidade do aluno de construir uma solução, pode ser objetivamente avaliado verificando-se a área dos estímulos gerados pela atividade. Neste caso, um maior estímulo da região fronto-parietal representaria um resultado efetivo da tarefa de aprendizagem, enquanto o estímulo da região do giro angular esquerdo indicaria a atividade como inadequada para o objetivo proposto. O mesmo raciocínio podendo ser aplicado para uma atividade que tivesse como objetivo desenvolve uma estratégia de recuperação, algo como a tabuada, o que seria também amplamente válido. O estudo de DEHAENE S. et. al (2010) demonstra que ler não só estimula como altera as áreas do cérebro tipicamente associadas a essa função, mas também leva a mudanças de áreas do cérebro associadas a outros domínios reforçando, do ponto de vista da neurociência, a importância da leitura no desenvolvimento cognitivo, algo bastante negligenciado na produção de materiais e objetos de aprendizagem digitais.

Objetos de aprendizagem digital são críticos na aprendizagem online. Manter a atenção dos alunos durante a aprendizagem, por exemplo, é desafio constante para os educadores e um desafio ainda maior nas abordagens de ensino online onde boa parte do sucesso depende dos objetos de aprendizagem empregados, mas dificilmente são objetivamente avaliados. Segundo OKU, A. Y. A., SATO, J. R. (2021) “Na aprendizagem online, alguns mecanismos de interatividade, como questionários, são cada vez mais usados ​​para envolver os alunos durante as aulas e tarefas. No entanto, existe uma grande demanda por ferramentas que avaliem a eficiência desses mecanismos. A fim de distinguir entre níveis altos e baixos de engajamento nas tarefas, é possível monitorar a atividade cerebral por meio de espectroscopia de infravermelho próximo funcional (fNIRS).”

Embora haja várias técnicas de neuroimagem vários estudos recentes vem empregando a espectroscopia funcional de infravermelho próximo (fNIRS) como uma alternativa a outros métodos de neuroimagem como o fMRI e PET. BROCKINGTON, G. et. al. (2018) desenvolve experimentos focados avaliar práticas de sala de aula e, em particular, avalia os estados de atenção e excitação de alunos de graduação durante uma palestra para concluir que esses estados somente são atingidos nos primeiros 8 minutos da palestra. OKU, A. Y. A., SATO, J. R. (2021) empregaram o fNIRS para monitorar a atenção de 18 alunos coletando dados da região do córtex pré-frontal durante uma aula em vídeo de 27 min e uma tarefa de responder a 10 questões de múltipla escolha. O estudo de SOLTANLOU M. et. al., (2018) também emprega a fNIRS para melhor compreender os processos subjacentes à aquisição e aprendizagem de habilidades acadêmicas, como matemática e linguagem.

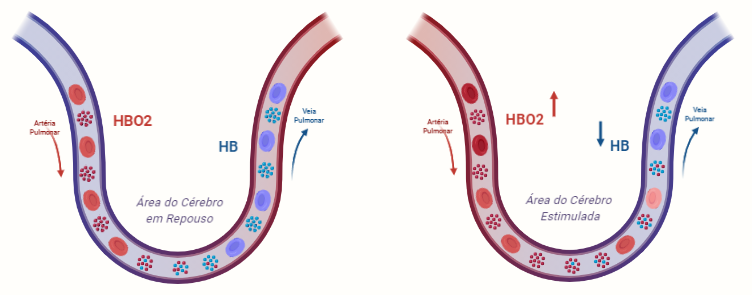
Técnicas semelhantes, com o emprego da fNIRS, também vem sendo empregadas em neuromarketing (MEYERDING, S., RISIUS, A., 2018; KRAMPE, C., GIER, N. R., KENNING, P., 2018) onde o mapeamento da atividade cerebral é empregado para avaliar o efeito de diferentes objetos de marketing sobre os consumidores. Esses experimentos compartilham uma série de técnicas e características dos experimentos empregados para a avaliação de objetos de aprendizagem.

**1.1.2. Princípios de fNIRS**

Desde seu surgimento na década de 80 espectroscopia funcional de infravermelho próximo (fNIRS) se mostra como uma alternativa viável, não invasiva, versátil e de baixo custo quando comparados a outras técnicas como a tomografia por emissão positrons (PET e SPECT), magnetoencefalografia (MEG) e ressonância magnética funcional (fMRI) (ALMAJIDY, R. K., et. al 2020). Assim como as técnicas de PET, SPECT e fMRI, o fNRIS é um método indireto que mede a atividade cerebral a partir das alterações da homodinâmica cerebral no que se diferencia de outros métodos que medem diretamente a atividade elétrica do cérebro como o MEG e EEG (eletroencelografia). A fNIRS vem desempenhando um papel importante no mapeamento das funções do cerébro, e seu baixo custo e mobilidade abrem espaço para muitas novas aplicações clínicas e de interface homem-máquina (ALMAJIDY, R. K., et. al 2020; SCHOLKMANN, F. et. al, 2020; NASEER, N., HONG, K-S., 2015) o que é de grande interesse para o desenvolvimento de objetos de aprendizagem.

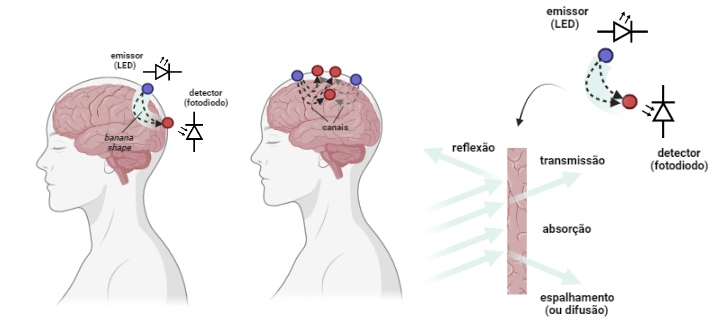
Além dos neurônios e células gliais, o suprimento de sangue no cérebro desempenha papel essencial no funcionamento do cérebro. Os neurônios não têm nenhuma provisão substancial de oxigênio ou glicose, e aumentos na atividade neural requerem um aumento no suprimento de sangue. Essa relação entre a atividade neural e a hemodinâmica cerebral é denominada de acoplamento neurovascular. Embora não seja totalmente compreendido, o acoplamento neurovascular fornece um sinal indireto da atividade cerebral e é o princípio de sistemas de neuroimagem como o fMRI e fNIRS. Essa dependência comum pelo princípio do acoplamento neurovascular permite que as duas técnicas compartilhem várias aplicações e métodos de análise.

Enquanto os sinais fMRI (BOLD ou Blood-oxygen-level-dependent imaging) medem mudanças na suscetibilidade magnética do sangue fornecendo uma medida da atividade cerebral, o fNIRS explora as propriedades ópticas dos tecidos, principalmente do sangue, medindo a absorção da luz na faixa NIR para inferir sobre a atividade cerebral.



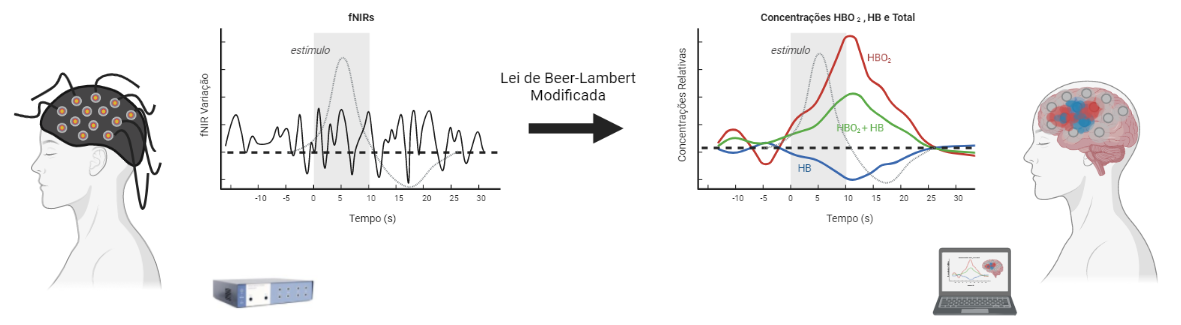
**Fig. 1. Esquemático de um vaso capilar do tecido cerebral durante o repouso (esquerda) e durante a atividade neural (direita). Os círculos vermelhos e azuis representam respectivamente os glóbulos vermelhos totalmente oxigenados (oxi-hemoglobina, HbO2) e totalmente desoxigenados (Hb, desoxi-hemoglobina) (adaptado de GLOVER, G. H. (2011))**

Os emissores e detectores de luz são instalados no escalpo do indivíduo. O sinal de luz é atenuado pelos tecidos do cérebro e mais ou menos absorvido de acordo com as concentrações de oxi-hemoglobina no meio.



**Fig. 2. Emissores e detectores de luz são instalados sobre o escalpo do indivíduo. Cada para emissor-detector constitui um canal que irá medir o sinal de luz atenuado pelo crânio e demais tecidos cerebrais. O sinal recebido é atenuado por várias propriedades do meio (elaborado pelo autor).**

As concentrações de oxi-hemoglobina, desoxi-hemoglobina e total não podem ser medidas diretamente, mas podem ser calculadas a partir dos dados brutos das quantidades de intensidade de luz medidas no experimento. A absorção de luz é medida pelo coeficiente de extinção molar A em função do comprimento de onda e existem várias formas para se converter esses dados brutos nas concentrações de oxi-hemoglobina, desoxi-hemoglobina e total. A forma mais comum em fNIRS é o emprego da Lei Modificada de Beer-Lambert (MBLL, Modified Beer-Lambert Law) será o procedimento empregado aqui mais adiante. A MBLL estabelece que a mudança na atenuação da luz é proporcional às mudanças nas concentrações dos cromóforos do tecido, principalmente oxi e desoxi-hemoglobina e permite calcular suas concentrações a partir das mudanças de atenuação medidas em dois ou mais comprimentos de onda assumindo um meio homogêneo em que a absorção do tecido muda de maneira homogênea e a difusão é constante. Essas premissas não são totalmente verdadeiras para o tecido cerebral, mas essa abordagem é bastante empregada não parece afetar significativamente os resultados qualitativos (SCHOLKMANN, F. et al., 2020).



**Fig. 3. Estágios de aquisição de dados fNIRS. (a) A luz é projetada ao longo de um caminho em forma de banana do optodo de luz através do couro cabeludo, crânio, líquido cefalorraquidiano e no córtex. A luz é absorvida, espalhados e refletidos da cabeça para o detector. (b) Mudanças na intensidade da luz estão relacionadas às mudanças de concentração em hemoglobina pela lei modificada de Beer-Lambert. Isso produz a função de resposta hemodinâmica (HRF). (c) Oxi-Hb é representado pela linha vermelha, enquanto a desoxi-Hb é representada pela linha azul. O eixo x é o tempo em segundos, e o eixo y é a mudança relativa da concentração dos cromóforos (adaptado de ALMAJIDY, R. K., et. al (2020)).**

**1.1.3. Desenho do Experimento**

A forma geral de desenho de um experimento de fNIRS é apresentada na figura 4. Ele envolve basicamente expor o indivíduo a certos estímulos em intervalos de tempo determinados ao longo do tempo durante o qual medimos os sinais atenuados de NIRS (YÜCEL, M.A. et. al, 2021; DANS, P.W., FOGLIA, S.D., NELSON, A.J., 2021; HEROLD, F., 2018).

Gráfico

Descrição gerada automaticamente

**Fig. 4. Esquema geral do desenho de um experimento de fNIRS. Ao longo do tempo o indivíduo é exposto a um ou mais estímulos ou tarefas diferentes (A, B). Pode haver ainda um evento de controle (C), por exemplo uma parada onde o indivíduo não tem nenhuma ação. Os tempos de cada fase podem variar (de segundos a minutos, a depender do experimento). Ao longo de cada fase são capturados os sinais de luz atenuados a intervalos constantes. Os estímulos e controles ainda podem se repetir, e ainda podem ser aplicados de forma randômica. A identificação do início de cada estímulo/controle é essencial para que faça o mapeamento da atividade cerebral (elaborado pelo autor).**

Os fotodiodos e receptores devem ser posicionados nas regiões do cérebro de interesse, por exemplo o córtex-frontal. Os intervalos dos estímulos precisam ser delimitados para em seguida serem associados a uma correspondente faixa de sinais coletados para as áreas selecionadas. O experimento pode ser repetido para o mesmo indivíduo, mas idealmente são aplicados para vários indivíduos diferentes obtendo-se uma amostra dos sinais. Os estímulos podem ser considerados em blocos ou separadamente (*block* e *event design,* fMRI Analysis Course, 2020).

Existem vários outros aspectos para a definição completa de um experimento de fNIRS. Eles vão desde a escolha do tipo sinal coletado (contínuo, domínio da frequência ou do tempo) e os intervalos de amostra dos sinais (SCHOLKMANN, F. et. al, 2020), até a formulação de instruções para os participantes e aspectos de luminosidade da sala e manipulação do coro cabeludo que interferem na qualidade dos sinais dos fotodiodos (ALMAJIDY, R. K., et. al 2020). Embora importantes, nos limitamos aqui a apresentar o desenho geral de um experimento e algumas boas práticas para aplicação da fNIRS podem ser encontradas em YÜCEL, M.A. et. al (2021) e SCHOLKMANN, F. et. al (2020).

* 1. **Pré-Processamento dos Dados**

O pré-processamento dos dados pode ser bastante elaborado, mas de modo podemos distinguir 4 fases comuns a todos procedimentos de análise de sinais de NIRS. Esses procedimentos são ilustrados na figura 5 e uma revisão de outros procedimentos adotados pode ser encontrada em YÜCEL, M.A. et. al (2021) e HEROLD, F. et. al (2018).

**Fig. 5. Principais fases de pré-processamento dos sinais de NIRS (elaborado pelo autor).**

A primeira fase é obrigatoriamente manual e consiste inspeção visual dos sinais coletados e eliminação de dados inconsistentes, o que pode acontecer devido a condições do equipamento, do experimento ou do participante.

Em seguida é necessário obter-se uma estimativa das concentrações de oxi e dioxi-homoglobina, e a concentração total. A técnica mais comum é a aplicação da MBLL e outros métodos são variantes dessa mesma técnica (SCHOLKMANN, F. et. al, 2020). A lei, entretanto, se aplica a sinais em forma de densidade óptica e equipamentos que fornecem sinais de intensidade de luz precisarão ter os dados convertidos, sendo o que empregaremos aqui.

Os sinais obtidos pelos aparelhos de fNIRS estão sujeitos a várias interferências e ruídos. Uma das interferências mais presentes nos sinais correspondem à pulsação do indivíduo. Para limpeza dos sinais empregam-se em geral filtros de passa-alta e passa-baixa, ou de banda, que eliminam sinais de amplitude muito alta, muito baixa ou ambos.

**1.1.4. Análise dos Resultados**

A partir das concentrações de oxi e dioxi-homoglobina limpas há dois principais caminhos de análise. A análise tradicional busca identificar as correlações dos sinais da atividade cerebral de cada região com os períodos de cada estímulo ou tarefa. Em geral isso é feito aplicando-se modelos lineares generalizados (GLM). Um segundo caminho é o emprego de algoritmos de aprendizado de máquina. Aqui adotaremos unicamente a análise tradicional.

O modelo de linear generalizado consiste basicamente da aplicação de uma regressão linear entre os

Diagrama, Esquemático

Descrição gerada automaticamente **Fig. 6. Esquema simplificado do modelo de regressão GLM (General Linear Models) aplicado à análise de fNIRS. A matriz de design representa a resposta esperada com base nos estímulos (eventos/tarefas) apresentados. O modelo busca obter os coeficientes βi de cada estímulo que melhor aproximam os dados aos sinais observados com resíduo εi. A maior correlação dos coeficientes indicará uma maior resposta (atividade cerebral) da área envolvida ao estímulo (elaborado pelo autor).**

* 1. **Descrição da situação problemática**

O problema abordado neste estudo é o de medir a eficiência de diferentes materiais didáticos e metodologias de ensino à distância a partir da atividade cerebral dos indivíduos medida a partir da espectroscopia funcional de infravermelho próximo (fNIRS) durante a aprendizagem. A eficiência dos materiais didáticos do ensino a distância é, em geral, avaliada de forma subjetiva ou de forma indireta, com base nos resultados da aprendizagem. Uma avaliação direta da atividade cognitiva do indivíduo durante a aprendizagem, permite identificar claramente a resposta do sujeito aos estímulos da aprendizagem para escolha das melhores estratégias de construção de materiais didáticos.

* 1. **Hipóteses diagnósticas**

Nossa hipótese é de que o mapeamento cerebral, obtido através da espectroscopia funcional de infravermelho próximo (fNIRS) durante o uso de diferentes materiais de ensino, pode indicar quais são as abordagens mais adequadas na produção desses materiais e, assim, indicar estratégias efetivas para sua produção voltadas ao aprendizado.

* 1. **Justificativa**

Em geral, a medida do resultado de uma estratégia de elaboração de material didático é avaliada de modo bastante subjetivo ou de modo indireto a partir da medida do desempenho de resolução da atividade educacional (um exercício de verificação, uma prova ou atividade avaliativa). Os materiais são produzidos adotando-se estratégias bastante subjetivas como “*tempo de 20 min para uma vídeo-aula*”, “*a apresentação deve estar em tópicos e ter no máximo 4 slides*”, ou ainda “*evite empregar textos longos*” e que não trazem a garantia de qualquer resultado.

Ao observarmos o comportamento do cérebro diretamente durante a execução de uma tarefa ou atividade educacional, pode-se identificar o padrão de atividade cerebral para cada estratégia educacional e o seu desempenho (SOLTANLOU, et. al., 2018). Assim, podemos expor indivíduos a uma certa estratégia e material de aprendizagem e observar diretamente as suas respostas (os estímulos cerebrais) com relação à atenção, o uso da memória, do raciocínio lógico e outros processos cognitivos fundamentais para que a aprendizagem ocorra.

Pode-se, assim, avaliar melhores práticas para a criação dos materiais de ensino, como a duração de uma exposição ou atividade, sua aplicação de modo individual ou em grupo, ou o formato de um texto, garantindo que os materiais e estratégias adotados de fato geram os estímulos esperados de aprendizagem.

Para se observar a atividade cerebral, a fNRIS surge como uma alternativa disponível (ver 3.3. Materiais utilizados), viável, não invasiva, versátil e de baixo custo para o avaliar o resultado de diferentes abordagens e materiais de ensino do ponto de vista da atividade cerebral (SOLTANLOU, et. al., 2018), à exemplo do que se pode aplicar à avaliação de diferentes abordagens de marketing sobre o comportamento dos consumidores (MEYERDING S., RISIUS, A., 2018; KRAMPE, C., GIER, N. R., KENNING, P., 2018).

1. **OBJETIVO**
   1. **Objetivo geral**

Apontar, do ponto de vista da neurociência e da atividade cerebral, as melhores soluções dentre diferentes materiais de ensino, com diferentes abordagens, permitindo definir melhores práticas para a produção desses materiais.

* 1. **Objetivos específicos**
* Desenvolver o desenho do experimento avaliação dos materiais didáticos.
* Desenvolver o método de avaliação.

1. **MÉTODO**
   1. **Participantes/Instituição/Público-alvo**

A intervenção será aplicada à alunos voluntários de graduação do curso de Engenharia de Produção da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), incluindo no mínimo 20 indivíduos de ambos os sexos e entre 18 e 26 anos.

* 1. **Planejamento de atividades**
  2. **Materiais utilizados**

O sistema de fNIRS a ser empregado será o equipamento do SCNLab, Laboratório de Neurociência Cognitiva e Social da UPM. O equipamento é um , da Rogue Resolutions LTD, não móvel, com até 16 emissores e 32 detectores, e que permite mais de 72 canais para registro dos níveis de oxi- e deoxihemoglobina na região cortical, para detecção da atividade cerebral.

Para processamento e análise dos dados será empregado o software NME-Python (GRAMFORT, A., et. al 2013). Ele fornece os principais procedimentos para o tratamento e análise dos sinais de NIRS, como aplicação da lei modificada de Beer-Lambert (MBLL) para obtenção das concentrações de oxi e desoxi-hemoglobina, filtros para limpeza dos sinais e análise de GLM. Também é uma plataforma de código aberto, construída sobre Python, o que permite flexibilidade no uso da solução.

* 1. **Cronograma de atividades**

1. **DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS**
   1. **Breve retomada do projeto e descrição do processo de intervenção**
      1. **Paradigma Experimental**

Nosso objeto de aprendizagem será uma aula gravada de 20 min sobre o tema Árvores de Decisão, tema em princípio desconhecido para os alunos de Engenharia. Cada participante assistirá uma aula com estímulos diferentes ao longo da apresentação. Serão 4 tipos de apresentação do tema: apresentação sem qualquer estímulo adicional; apresentação incluindo Pontos Chave ao longo da aula; apresentação incluindo um teste sobre o que foi abordado; apresentação incluindo uma pergunta aberta e reflexiva sobre o que foi abordado (tipo “*no que você poderia aplicar isso?”*). Após a apresentação o participante será convidado a responder uma avaliação sobre o que aprendeu na aula (nesse momento não são coletados dados da atividade cerebral do participante). O desenho geral do experimento é apresentado na figura 7.

**Diagrama

Descrição gerada automaticamente**

**Fig. 6. Esquema geral da intervenção proposta. Cada aluno é exposto a uma aula com diferentes estímulos. Os dados de fNIRS são coletados e serão depois correlacionados aos estímulos de cada tipo de aula empregada (elaborado pelo autor). Ao final, todos farão uma avaliação do conhecimento adquirido.**

* + 1. **Sistema e Aquisição**

Descrevemos a seguir as características de montagem do sistema e aquisição dos dados.

* **Regiões de Interesse (ROI).** A região de interesse será a região do córtex pré-frontal que está envolvida nos processos de cognição de mais alta ordem, como os raciocínios de cálculo, e a junção temporoparietal, associada a aspectos de empatia e mentalização. Essas áreas estão, portanto, bastante associadas à aprendizagem (BROCKINGTON, G. et. al., 2018; GRABNER, R. H. et al., 2009) e nossa hipótese é que ambas devem ser mais estimuladas ao longo do aprendizado quanto melhor for a estratégia do objeto de aprendizagem.
* **Configurações do Sistema.** Seguiremos inicialmente as configurações mais comuns e recomendadas nos experimentos de fNIRS considerando o equipamento disponível (Brainsight NIRS). Essas configurações poderão ser ajustadas ao longo do experimento conforme a necessidade desde que mantidas as análises dentro do mesmo conjunto de configurações. Essas configurações mais comuns e boas práticas são apresentadas HEROLD, F. et. al (2018) e YÜCEL, M.A., et. al (2021). Empregaremos uma coleta de ondas contínuas, o tipo mais simples e comum empregado (ALMAJIDY, R. K., et. al 2020) com uma resolução de 100Hz e comprimentos de onda 685-830nm (característica do dispositivo Brainsight NIRS utilizado). Sendo a região de interesse limitada empregaremos 18 canais (6 emissores e 12 receptores) dispostos sobre as regiões do córtex pré-frontal e a junção temporoparietal, igualmente distribuídos com distância aproximada de 3.0cm.
  + 1. **Pré-Processamento dos Dados**

A inspeção visual dos sinais é normalmente necessária e o primeiro procedimento em que são rejeitados dados que se apresentam inválidos na coleta (YÜCEL, M.A., et. al, 2021) o que pode incluir, por exemplo, a rejeição dos dados de um canal. Os dados fornecidos pelo sistema Brainsight NIRS é o formato mais comum de intensidade de luz. Para converter os dados de intensidade de luz nas concentrações de oxi e desoxi-hemoglobina, embora existam outras técnicas, adotaremos o método mais utilizado da lei modificada de Beer-Lambert (MBLL) (SCHOLKMANN, F. et. al, 2020). A aplicação desse método é diretamente fornecida pelo software NME-Python (GRAMFORT, A., et. al 2013), transformando-se antes as intensidades em dados de densidade óptica (respectivamente os métodos mne.pre.nirs.optical\_density( ) e mne.pre.nirs.beer\_lambert\_law()). Sobre os dados de concentração obtidos aplicaremos então os filtros passa-alta e passa-baixa para limpeza dos sinais (também disponíveis no software NME-Python, data.filter()). Inicialmente não serão empregadas outras transformações, como normalização e retirada de tendência dos dados, o que é normalmente recomendado (HEROLD, F. et. al, 2018), mas são procedimentos mais elaborados e que podem ser omitidos em uma primeira análise e incluídos depois.

* + 1. **Análise dos Dados**

A média do bloco é um método de processamento fNIRS mais frequentemente utilizado. Deverá haver ao menos 5 sujeitos para cada tipo e apresentação. O modelo de regressão será então aplicado à média dos sinais dos 5 sujeitos expostos a cada tipo de apresentação.

O método de análise será o GLM e faremos a análise sobre dois tipos de matriz de design. Uma envolvendo os blocos A, B, C, D e outra envolvendo cada um dos estímulos propostos. O modelo também será aplicado aos resultados da avaliação do conhecimento do participante. Nossa hipótese é de que a correlação a maior dos estímulos sobre a atividade medida apontará a melhor estratégia de desenho do objeto de aprendizagem o que poderá, ou não, ter relação com o resultado da avaliação do participante.

* + 1. **Segurança e Cuidados**

ALMAJIDY, R. K., et. al (2020) e YÜCEL, M.A., et. al (2021) destacam alguns cuidados durante a realização do experimento e que deverão ser observadas. Destacamos: o cuidado com o cabelo no ajuste correto do dispositivo, tanto para o participante como para evitar ruídos e perda nos sinais; o emprego de baixa luminosidade na sala, o que pode interferir na coleta dos sinais; e o aspecto de segurança do sujeito. Embora a técnicas seja não intrusiva, a exposição à luz por um período prolongado, e em especial a luz de emissores do tipo laser como é o caso do dispositivo Brainsight NIRS, podem gerar aquecimento do couro cabeludo.

* 1. **Resultados esperados a partir da intervenção**

Trilha 7 – discussão teórica da intervenção e possíveis resultados que serão alcançados após a intervenção.

* 1. **Considerações finais**

Trilha 7

1. **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

GRAMFORT, A., LUESSI, M., LARSON, E., ENGEMANN, D. A., STROHMEIER, D., BRODBECK, C., GOJ, R., JAS, M., BROOKS, T., PARKKONEN, L., HÄMÄLÄINEN, M. S. (2013) **MEG and EEG data analysis with MNE-Python**. Frontiers in Neuroscience, 7(267):1–13. doi:10.3389/fnins.2013.00267.

HEROLD, F., WIEGEL, P., SCHOLKMANN, F., MÜLLER, N.G. (2018). **Applications of Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) Neuroimaging in Exercise–Cognition Science: A Systematic, Methodology-Focused Review.** Journal of Clinical Medicine. 2018; 7(12):466. https://doi.org/10.3390/jcm7120466

BROCKINGTON, G., BALARDIN, J. B., ZIMEO MORAIS, G. A., MALHEIROS, A., LENT, R., MOURA, L. M., SATO, J. R. (2018). **From the Laboratory to the Classroom: The Potential of Functional Near-Infrared Spectroscopy in Educational Neuroscience.** Frontiers in psychology, 9, 1840. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01840>

ANSARI, D., DE SMEDT, B., GRABNER, R. H. (2011). **Neuroeducation – A Critical Overview of An Emerging Field.** Neuroethics, 5(2), 105–117. <https://doi:10.1007/s12152-011-9119-3>

DEHAENE S., PEGADO F., BRAGA L.W., VENTURA P., NUNES FILHO G., JOBERT A., DEHAENE-LAMBERTZ G., KOLINSKY R., MORAIS J., COHEN L. (2010). **How learning to read changes the cortical networks for vision and language.** Science. 2010 Dec 3;330(6009):1359-64. <https://doi:10.1126/science.1194140>

GRABNER, R. H., D. ANSARI, K. KOSCHUTNIG, G. REISHOFER, F. EBNER, AND C. NEUPER (2009). **To retrieve or to calculate? Left angular gyrus mediates the retrieval of arithmetic facts during problem solving**. Neuropsychologia 47(2): 604–608. https://doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2008.10.013/

OKU, A. Y. A., SATO, J. R. (2021) **Predicting Student Performance Using Machine Learning in fNIRS Data.** Front. Hum. Neurosci.<https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.622224>

SOLTANLOU, M., SITNIKOVA, M., NUERK, H-C.,DRESLER, T. (2018). **Applications of Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) in Studying Cognitive Development: The Case of Mathematics and Language.** Frontiers in Psychology. 9. <https://doi:10.3389/fpsyg.2018.00277>

MEYERDING, S., RISIUS, A. (2018). **Reading Minds: Mobile Functional Near-Infrared Spectroscopy as a New Neuroimaging Method for Economic and Marketing Research-A Feasibility Study**. Journal of Neuroscience Psychology and Economics. 11. 197-212. <https://doi:10.1037/npe0000090>

KRAMPE, C., GIER, N. R., KENNING, P. (2018). **The Application of Mobile fNIRS in Marketing Research—Detecting the “First-Choice-Brand” Effect**. Frontiers in Human Neuroscience, 12. <https://doi:10.3389/fnhum.2018.00433>

ALMAJIDY, R. K., MANKODIYA, K., ABTAHI, M., HOFMANN, U. G. (2020). **A Newcomer's Guide to Functional Near Infrared Spectroscopy Experiments**. IEEE Reviews in Biomedical Engineering, vol. 13, pp. 292-308. <https://doi.org/10.1109/RBME.2019.2944351>

SCHOLKMANN, F., KLEISER, S., METZ, A. J., ZIMMERMANN, R., MATA PAVIA, J., WOLF, U., & WOLF, M. (2020). **A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology**. NeuroImage, 85, pp. 6–27. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.004>

NASEER, N., HONG, K-S. (2015) **fNIRS-based brain-computer interfaces: a review**, Front. Hum. Neurosci., <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00003>

GLOVER, G. H. (2011). **Overview of functional magnetic resonance imaging.** Neurosurgery clinics of North America, 22(2), 133–vii. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2010.11.001>

YÜCEL, M.A., LÜHMANN, A.V., SCHOLKMANN, F., GERVAIN, J., DAN, I., AYAZ, H., BOAS, D., COOPER, R.J., CULVER, J., ELWELL, C.E., et. al (2021). **Best practices for fNIRS publications**. Neurophotonics 2021, 8. <https://doi.org/10.1117/1.NPh.8.1.012101>

DANS, P.W., FOGLIA, S.D., NELSON, A.J. (2021). **Data Processing in Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) Motor Control Research**. Brain Sci. 11, 606. <https://doi.org/10.3390/>

HEROLD, F., WIEGEL, P., SCHOLKMANN, F., MÜLLER, N.G. (2018). **Applications of Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) Neuroimaging in Exercise–Cognition Science: A Systematic, Methodology-Focused Review**. Journal of Clinical Medicine. 7(12):466. <https://doi.org/10.3390/jcm7120466>

PINTI, P., SCHOLKMANN, F., HAMILTON, A., BURGESS, P., TACHTSIDIS. I. (2019) **Current Status and Issues Regarding Pre-processing of fNIRS Neuroimaging Data: An Investigation of Diverse Signal Filtering Methods Within a General Linear Model Framework**, Frontiers in Human Neuroscience, Volume 12, page 505, https://doi.org/3389/fnhum.2018.00505

\_\_\_. fMRI Analysis Course (2020). **fMRI data analysis course for cognitive science students 2020. Nicolaus Copernicus University.** Materials for fMRI data analysis course taught at Nicolaus Copernicus University in Toruń for cognitive science students. Disponível em: <https://github.com/fMRIAnalysisCourse/fmri-analysis-course> Acesso: 02.09.2021

CHANG, L. J., HUCKINS, J., CHEONG, J. H., BRIETZKE, S., LINDQUIST, M. A., WAGER, T. D. (2020). **An online open access resource for learning functional neuroimaging analysis methods in Python**. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3909718>

*(EM ANDAMENTO)*

YÜCEL, M.A., LÜHMANN, A.V., SCHOLKMANN, F., GERVAIN, J., DAN, I., AYAZ, H., BOAS, D., COOPER, R.J., CULVER, J., ELWELL, C.E., ET AL. (2021). **Best practices for fNIRS publications**. Neurophotonics 2021, 8. <https://doi.org/10.1117/1.NPh.8.1.012101>

IMAI, T., SATO, T., NAMBU, I., WADA, Y. (2012). **Estimating Brain Activity of Motor Learning by Using fNIRS-GLM Analysis**. Neural Information Processing, Springer Berlin Heidelberg, 401—408. <https://10.1007/978-3-642-34475-6_48>

FERNANDEZ ROJAS, R., HUANG, X., OU, K.L. (2019). **A Machine Learning Approach for the Identification of a Biomarker of Human Pain using fNIRS**. Sci Rep 9, 5645. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42098-w>

MA, T, CHEN, W, LI, X, XIA, Y, ZHU, X, HE, S. (2021). **fNIRS Signal Classification Based on Deep Learning in Rock-Paper-Scissors Imagery Task.** Applied Sciences. 11(11):4922. <https://doi.org/10.3390/app11114922>

GRAMFORT, A, LUESSI, M., LARSON, E, ENGEMANN, D. A., STROHMEIER, D., BRODBECK, C, GOJ, R, JAS, M., BROOKS, T., PARKKONEN, L., HÄMÄLÄINEN, M. S. (2013). **MEG and EEG data analysis with MNE-Python.** Frontiers in Neuroscience, 7(267):1–13. <https://doi:10.3389/fnins.2013.00267> Disponível em: <https://mne.tools/dev/index.html> Acesso: 16/08/2021.