

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE USO DO FNIRS EM ATIVIDADES EDUCACIONAIS COM CRIANÇAS E JOVENS COM DEFICIÊNCIA INTELECTUAL E AUTISMO¹

ANALYSIS OF FNIRS USABILITY IN EDUCATIONAL ACTIVITIES WITH CHILDREN AND YOUNG PEOPLE WITH INTELLECTUAL DISABILITY AND AUTISM

Priscila BENITEZ²
Camila DOMENICONI³
Amanda Yumi Ambriola OKU⁴
Raimundo da Silva SOARES JUNIOR⁵
Fernanda Yumi Ribeiro MORI⁶
Lincoln SASSAKI⁷
Thainá Letícia Dourado MOURA⁸
Thariny OLIVEIRA⁹
Lizbeth Conti de Carvalho OLIVEIRA¹⁰
Giovana da SILVA¹¹
João Ricardo SATO¹²
Marcelo Salvador CAETANO¹³

¹ <https://doi.org/10.1590/1980-54702023v29e0158>

² Professora Adjunta. Universidade Federal do ABC (UFABC). Santo André/São Paulo/Brasil. E-mail: priscila.benitez@ufabc.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3501-7606>

³ Professora Associada. Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). São Carlos/São Paulo/Brasil. E-mail: domeniconicamila@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0486-3543>

⁴ Licenciada em Matemática. Universidade de São Paulo (USP). Doutora em Engenharia da Informação pela UFABC. Santo André/São Paulo/Brasil. E-mail: amanda.yumi.ambriola@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2066-3165>

⁵ Doutorando em Neurociências. UFABC. Santo André/São Paulo/Brasil. E-mail: raimundo.silva@ufabc.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2109-673X>

⁶ Mestranda em Educação Especial. UFSCar. Santo André/São Paulo/Brasil. E-mail: fyr.mori@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0991-3151>

⁷ Licenciando em Física. UFABC. Santo André/São Paulo/Brasil. E-mail: satoru.sasaki@aluno.ufabc.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6566-8584>

⁸ Bacharel em Neurociência. UFABC. São Bernardo do Campo/São Paulo/Brasil. E-mail: thaina.moura@aluno.ufabc.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1587-7185>

⁹ Mestranda. Núcleo de Estudo em Cognição Social. Departamento de Psicobiologia. Universidade Federal de São Paulo (Unifesp). São Paulo/São Paulo/Brasil. E-mail: thariny.oliveira@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7358-9918>

¹⁰ Pós-graduanda. Superdotação, Altas Habilidades e Inteligências Múltiplas. *Child Behavior Institute* (CBI) of Miami. Psicopedagoga na Clínica CLIA: Psicologia, Saúde e Educação. Santo André/São Paulo/Brasil. E-mail: lizpedago@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7063-9596>

¹¹ Psicopedagoga. Clínica CLIA: Psicologia, Saúde e Educação. Santo André/São Paulo/Brasil. E-mail: giovannapsicopedagogia@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4716-6214>

¹² Professor Associado. Universidade Federal do ABC. Santo André/São Paulo/Brasil. E-mail: joao.sato@ufabc.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7503-9781>

¹³ Professor Associado. UFABC. Santo André/São Paulo/Brasil. E-mail: marcelo.caetano@ufabc.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5353-7982>



RESUMO: Métodos em neurociência cognitiva podem auxiliar o planejamento educacional de docentes no contexto da Educação Especial, por favorecerem práticas personalizadas que valorizem a velocidade individual de aprendizagem de estudantes com transtorno do espectro do autismo (TEA) e/ou deficiência intelectual (DI). Assim sendo, este estudo objetivou verificar a viabilidade de uso da Espectroscopia Funcional de Infravermelho Próximo (fNIRS) em situação naturalística clínica com crianças e jovens com TEA e/ou DI durante tarefas de ensino. Ademais, o estudo buscou identificar as estratégias de treino para que as crianças e os jovens utilizassem o equipamento durante a realização da atividade. Sete estudantes com diagnóstico de TEA e/ou DI foram treinados com atividades de matemática, leitura e expressividade emocional, de acordo com seus respectivos currículos educacionais prévios. Cada participante foi exposto a duas tarefas em cada atividade, uma na qual já apresentava domínio e outra que necessitava de apoio para emitir uma resposta independente. Os resultados indicaram a viabilidade de uso do fNIRS nesse contexto natural da criança e do jovem e forneceram medidas implícitas para além das medidas observacionais de acerto e erro na tarefa. Esta é uma importante demonstração da viabilidade do uso do fNIRS em experimentos no contexto da Educação Especial.

PALAVRAS-CHAVE: Educação Especial. Leitura. Neurociências. Expressividade emocional.

ABSTRACT: Methods in cognitive neuroscience can assist educational planning of teachers in the context of Special Education, as they favor personalized practices that value individual students with Autism Spectrum Disorder (ASD) and/or Intellectual Deficiency (ID). Therefore, this study aimed to verify the feasibility of using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) in clinical naturalistic situation with children and young people with ASD and/or ID during teaching tasks. In addition, the study sought to identify training strategies so that children and young people use the equipment during the activity. Seven students diagnosed with ASD and/or ID were trained with mathematics, reading and emotional expressiveness, according to their respective previous educational curricula. Each participant was exposed to two tasks in each activity, one in which he/she already had a domain and one that needed support to issue an independent response. The results indicated the feasibility of using fNIRS in this natural context of the child and the young student and provided implicit measures beyond the observational arrangement measures and task error. This is an important demonstration of the feasibility of using fNIRS in experiments in the context of Special Education.

KEYWORDS: Special Education. Reading. Neurosciences. Emotional expressiveness.

1 INTRODUÇÃO

O número de matrículas de estudantes brasileiros com deficiência e transtornos globais do desenvolvimento nas escolas regulares, principalmente em classes comuns, aumentou significativamente (Mendes, 2019). Em 2021, o número de matrículas da Educação Especial foi 1,4 milhão, representando aumento de 26,7% em relação a 2017. A maior concentração das matrículas ocorre na rede pública de ensino (98%), em relação à rede privada (56,8%) (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira [INEP], 2021a). Nesse contexto, uma das preocupações referentes à política vigente (Ministério da Educação, 2008) refere-se a um único modelo de oferta de serviços educacionais especializados centrado no Atendimento Educacional Especializado (AEE), que pode ser insuficiente para garantir o apoio educacional necessário no contexto da classe comum (Mendes, 2019). Em 2021, dos 93,5% inseridos em classes comuns, 53,8% estavam sem acesso ao AEE (INEP, 2021b).

A garantia da matrícula na escola regular, como passo inicial para efetivação do direito social relacionado à educação de estudantes com deficiência e transtornos globais do desenvolvimento, tem sido fundamental para redução das desigualdades sociais brasileiras. Contudo, é necessário avançar a discussão, visando a garantia de serviços educacionais especializados variados e formação docente nas diferentes áreas do saber para efetivar a permanência estudantil, com uso de estratégias pedagógicas que favoreçam o acesso ao currículo (Zerbato & Mendes, 2021).

Uma forma de entender o desempenho pedagógico pode ser por meio das atividades basilares que edificam o currículo educacional, tais como leitura, escrita e matemática. Apesar do Transtorno do Espectro do Autismo (TEA) representar 18,7% das matrículas na Educação

Especial em 2021, os dados a respeito de seu desempenho escolar permanecem desconhecidos. Em relação às crianças com deficiência intelectual (DI), o Censo Demográfico de 2010 mostrou que a maioria das crianças com diagnóstico de DI e idade entre cinco e nove anos, matriculadas em escolas regulares, ainda não tinham aprendido a ler (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2011).

No Estado de São Paulo, local em que foi realizado o estudo, de 22.763 crianças com DI matriculadas em escolas regulares, 16.038 ainda não sabiam ler e escrever (cerca de 70%). Uma forma de compreender os impactos do processo inclusivo na escolarização pode ser por meio da análise das estruturas e políticas municipais desenhadas para garantir a equidade em classe comum, como fizeram por exemplo Gomes e Mendes (2010), que analisaram a rede municipal de ensino de Belo Horizonte, Minas Gerais, com o objetivo de caracterizar a escolarização de alunos com TEA em salas de aula comum. Outros estudos seguiram na mesma direção em outros municípios e revelaram preocupações similares com o processo de aprendizagem dos estudantes com TEA e/ou DI, no contexto da escola regular (Benitez et al., 2017; Gomes & Mendes, 2010; Ribeiro et al., 2017).

Buscar compreender como ocorrem os processos de aprendizagem para além de dados de acerto e erro na tarefa acadêmica pode ser importante para traçar propostas mais personalizadas e assertivas para esse público que já está em desigualdade educacional, sobretudo em termos de idade cronológica em relação aos demais. O uso de medidas complementares, como é o caso do esforço cognitivo, pode favorecer o planejamento do ensino ainda mais individualizado. As análises obtidas a partir da obtenção de medidas neurofisiológicas podem atuar na predição e no monitoramento do desempenho pedagógico e auxiliar docentes nas tomadas de decisões personalizadas em relação aos objetivos de ensino.

Uma medida fisiológica pertinente nesse processo pode ser obtida por meio do registro das variações na oxigenação cerebral durante a realização de tarefas que demandam algum esforço cognitivo. Uma das técnicas que podem ser utilizadas no contexto educacional é a Espectroscopia Funcional de Infravermelho Próximo (do inglês, *Functional Near-Infrared Spectroscopy* - fNIRS). O fNIRS é uma técnica utilizada para avaliar, de forma indireta e não invasiva, a atividade neural que pode ser inferida por meio das alterações dos níveis de concentração de oxigenação do sangue (acoplamento hemodinâmico) (Ferrari & Quaresima, 2012). O método é considerado confortável, seguro e portátil, o que permite a aplicação do fNIRS em experimentos naturalísticos (Balardin et al., 2017), incluindo paradigmas de pesquisa no contexto educacional (Barreto et al., 2021; Brockington et al., 2018). Estudos prévios mostraram, por exemplo, que é possível prever o desempenho de estudantes em tarefas educacionais com base em dados obtidos com essa técnica (Oku & Sato, 2021).

O fNIRS tem sido uma boa opção de ferramenta de pesquisa inclusive devido à sua relativa tolerância ao movimento e à portabilidade (Zhang & Roeyers, 2019). Embora a aplicação do fNIRS para orientar planejamentos de ensino no contexto da inclusão social, envolvendo estudantes com TEA e/ou DI, ainda seja emergente, existem estudos promissores na área de neurociências que envolvem análises de tarefas com estímulos visuais, auditivos e linguísticos (ver Mazzoni et al., 2019 para revisão).

Este estudo teve como objetivo verificar a viabilidade de uso do fNIRS em situação naturalística clínica com crianças e jovens com TEA e/ou DI, por meio da comparação do desempenho em tarefas que já apresentavam domínio prévio, em relação às tarefas que ainda estavam em procedimento de ensino. Foram identificadas variáveis ambientais no contexto da coleta de dados (e.g. mobiliário, uso de estímulos manipuláveis no cotidiano clínico e informatizados na coleta com fNIRS, organização das pessoas no ambiente de coleta de dados, uso da touca com eletrodos) e descritas estratégias que podem orientar a obtenção de dados similares em estudos futuros, como o uso da touca durante a realização da atividade.

2 MÉTODO

Considerações éticas: O uso de medidas pelo fNIRS foi aprovado pelo Comitê de Ética de uma Universidade da região metropolitana de São Paulo (Parecer nº 3.827.128).

Descrição dos materiais: As avaliações aplicadas foram: Avaliação da Rede de Leitura e Escrita (Fonseca, 1997), Protocolo de Registro e Avaliação das Habilidades Matemáticas – PRAHM (Costa et al., 2017) e Escala de Intensidade de Suportes – SIS (Almeida et al., 2016). As avaliações foram escolhidas com base no Planejamento Educacional Individualizado (PEI) de estudantes nas áreas de leitura, matemática e expressividade emocional. As avaliações já eram utilizadas pela clínica ou pela escola e serviram para caracterizar a amostra, bem como orientar a escolha da tarefa alvo e controle.

A avaliação de leitura e escrita foi composta por seis tarefas de emparelhamento com modelo, cinco tarefas de nomeação com figuras, palavras, sílabas e letras, duas tarefas de cópia e duas tarefas de ditado, totalizando 15 tarefas. A avaliação está informatizada em plataforma *web*. O PRAHM (Costa et al., 2017) é composto por 34 atividades, distribuídas em sete de contagem, três de produção de sequência, 20 pré-aritméticas e três de identificação de forma geométrica. A Escala de Intensidade de Apoios – SIS (Almeida et al., 2016) tem três sessões. A primeira aborda a classificação da necessidade de apoio e os níveis gerais de suporte (vida doméstica, comunitária, aprendizagem ao longo da vida, emprego, saúde e segurança, social). Foi utilizada a versão brasileira que se encontra em processo final de validação no Brasil.

Participantes: O critério para seleção de estudantes com TEA e/ou DI foi laudo médico dado por um profissional especialista da área. Participaram seis estudantes (três crianças e três jovens adultos, todos do gênero masculino), não sendo constatado, no dia da coleta de dados, o uso de qualquer medicação. É importante ressaltar que todos eles não faziam uso contínuo de medicamento. Conforme avaliação educacional prévia, os participantes foram selecionados para realizar as atividades previamente selecionadas do currículo educacional geral, a destacar: a) Matemática: quantidades e associação a numeral; b) Matemática: noções de dúzia e meia dúzia; c) Matemática: Sequência crescente e decrescente; d) Leitura: Correspondência de palavra com figura; e e) Expressividade emocional, representado no Quadro 1.

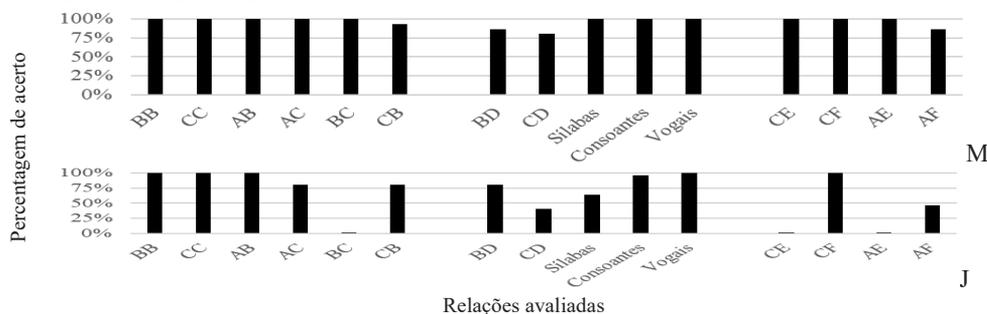
Quadro 1 Caracterização da amostra

| | Idade | Diagnóstico médico | Escola/ano | Matemática | | | Leitura | Expressividade Emocional |
|---|---------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | | | | Número-Quantidade | Dúzia, meia dúzia | Sequência crescente, decrescente | Palavra impressa-figura | Alegria |
| B | 5 anos | TEA | Regular /EI | X | | | X | |
| J | 10 anos | TEA | Regular /EF | X | | X | X | |
| M | 11 anos | TEA | | | X | | | X |
| D | 18 anos | TEA e DI | Regular / 2º ano EM | X | | X | | |
| I | 19 anos | DI/SD | | | X | | | |
| E | 21 anos | DI / SD | | | X | | | |

Nota. SD significa Síndrome de Down, EI significa Educação Infantil, EM significa Ensino Médio e X se refere à atividade realizada pelos participantes.

A Figura 1 mostra o desempenho das três crianças nas avaliações acadêmicas escolhidas de acordo com os PEIs que estavam sendo implementados. M2 e J tiveram como base para análise dos dados a avaliação da rede de leitura e escrita, sendo o esperado para idade cronológica 100% de acertos, assim como B foi exposto ao PRAHM, contendo tarefas esperadas para crianças matriculadas na Educação Infantil, conforme sua idade cronológica.

Figura 1
Desempenho dos participantes M e J

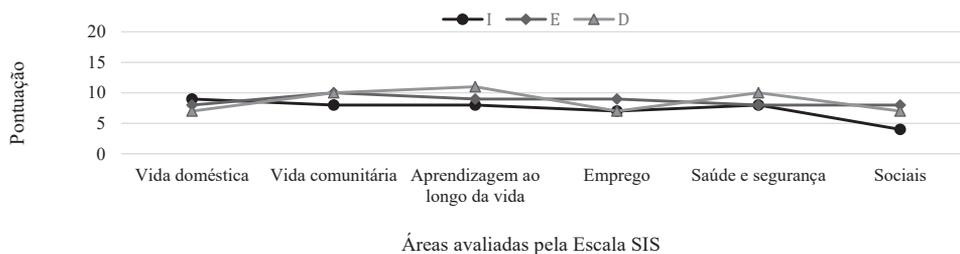


Nota. BB significa emparelhamento por identidade com figuras; CC, identidade com palavras impressas; AB, emparelhamento palavra ditada-figura; AC, emparelhamento palavra ditada-palavra impressa; BC, emparelhamento figura-palavra impressa e vice-versa (CB); BD, nomeação de figura; CD, nomeação de palavra impressa; CE, cópia por composição; CF, cópia manuscrita; AE, ditado por composição; e AF, ditado manuscrito.

Os três jovens adultos foram avaliados por meio da Escala SIS (Figura 2), por ser uma avaliação coerente à idade cronológica e responsável pela orientação dos PEIs de tais jovens.

Figura 2

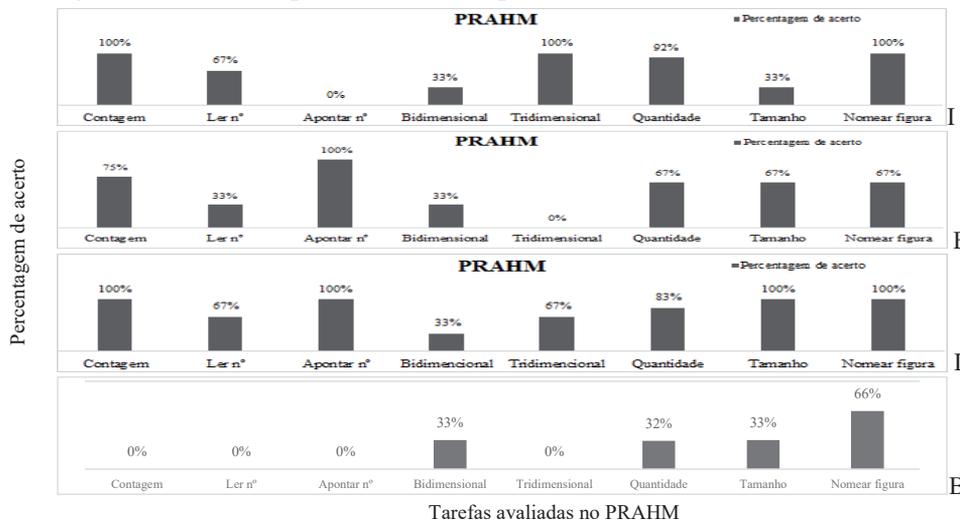
Desempenho dos três jovens adultos na Escala SIS que orientou a escolha das tarefas controles e alvos para análise das respostas hemodinâmicas



A Figura 3 mostra o desempenho dos jovens nas atividades de matemática avaliadas pelo PRAHM, em função da análise da SIS em relação às demandas de apoio na área de aprendizagem ao longo da vida.

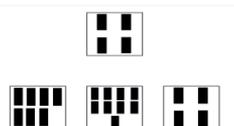
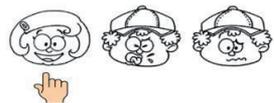
Figura 3

Desempenho dos três jovens na avaliação do PRAHM e da criança B que orientaram o planejamento das tarefas controles e alvos para análise das respostas hemodinâmicas



O Quadro 2 mostra as tarefas utilizadas na avaliação. A escolha das atividades ocorreu com base no PEI que cada um deles já apresentava, seja o PEI elaborado pela escola regular ou pela clínica especializada.

Quadro 2
Tarefas utilizadas com uso da touca e registro pelo fNIRS

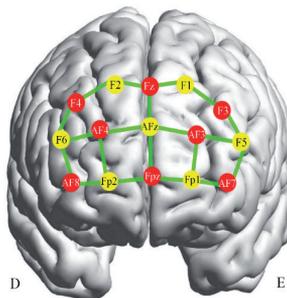
| Tarefa | Ilustração da tarefa-alvo | Ilustração da tarefa controle | Ilustração da tarefa de observação ou repouso |
|---|--|--|---|
| Matemática: número-quantidade e quantidade-número | Instrução oral: “Aponte a quantidade”  | Instrução oral: Aponte a igual  | Apresentação entre tentativa  |
| Matemática: conceito de dúzia e meia dúzia | Instrução oral: “Aponte dúzia”  | Instrução oral: “Aponte meia dúzia”  | Apresentação entre tentativa  |
| Matemática: sequência numérica crescente e decrescente | Instrução oral: Complete a sentença decrescente  | Instrução oral: Complete a sentença crescente  | Apresentação entre bloco  |
| Leitura: correspondência entre palavra impressa-figura e figura-figura. | Instrução oral: “Aponte a figura”  | Instrução oral: “Aponte a igual”  | Sem tarefa repouso ou de resposta de observação |
| Expressividade emocional: alegria | Instrução oral: “Aponte a alegria”  | Instrução oral: “Aponte a alegria”  | Sem tarefa repouso ou de resposta de observação |

Procedimento de coleta de dados: O experimento com fNIRS foi realizado em uma sala em que todos os estudantes foram orientados a se sentar em frente a uma tela de computador na qual a tarefa seria apresentada. Anteriormente ao teste, foi feita uma breve explicação do experimento para que então o ajuste de posicionamento da touca com os optodos e o processo de calibração do equipamento fossem realizados. O estímulo visual foi apresentado em um computador com monitor em modo de tela cheia. Ao longo de toda a tarefa, pessoas da equipe observaram o participante para auxiliá-lo, se necessário, e monitoraram a atividade cerebral do

participante em tempo real por meio de um *laptop* secundário conectado ao fNIRS. O posicionamento dos eletrodos está representado na Figura 4.

Figura 4

Representação esquemática dos optodos do fNIRS posicionados na região frontal do hemisfério esquerdo (E) e direito (D) do córtex pré-frontal



Nota. A posição dos optodos segue a configuração universal do sistema internacional 10-20 EEG. Os canais são compostos por pares de optodos representados pelas linhas verdes. Os pontos vermelhos representam as fontes de luz (S1 a S8) correspondentes a F3, AF7, AF3, Fz, Fpz, AF4, AF8, F4 e os detectores (D1 a D7) são representados pelos pontos amarelos correspondentes a F5, F1, Fp1, AFz, F2, Fp2, F6.

O delineamento consistiu na apresentação de dez blocos de tentativas, sendo cinco blocos com tarefas controles e cinco com tarefas alvos. As tarefas-alvo foram consideradas como difíceis, o que significa que a criança/o jovem necessitava de apoio para responder corretamente. Por exemplo, nos PEIs de D e J, eles necessitavam de apoio para responder tarefas de sequência decrescente. Já, no formato crescente, a atividade foi considerada como controle, pois respondiam corretamente de maneira independente, sem dica.

O bloco durava 30 segundos, durante os quais o participante poderia responder ao maior número possível de tentativas. As tentativas de matemática foram compostas com atividades envolvendo os comportamentos-alvo de sequência numérica crescente (1 até 9) e decrescente (9 até 1). A Tabela 1 mostra a sequência aplicada com cada estudante, por exemplo, I realizou duas tentativas de dúzia no bloco 1 (que teve duração padronizada de 30 segundos), três de meia dúzia, três de dúzia, três de meia dúzia, quatro de dúzia e uma de meia dúzia, totalizando 16 tentativas distribuídas em seis blocos.

Tabela 1

Seqüência de aplicação das tarefas, número de blocos e de tentativas por participante

| | Bloco 1 | Bloco 2 | Bloco 3 | Bloco 4 | Bloco 5 | Bloco 6 | Bloco 7 | Bloco 8 | Bloco 9 | Bloco 10 | N total |
|--|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|---------|
| Número de tentativas de dúzia e meia dúzia – Matemática por participante | | | | | | | | | | | |
| | dúzia | meia dúzia | dúzia | meia dúzia | dúzia | meia dúzia | | | | | |
| I. | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 1 | - | - | - | - | 16 |
| M | 1 | 10 | 9 | 5 | 5 | 5 | - | - | - | - | 35 |
| E | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | - | - | - | - | 23 |
| Número de tentativas de seqüência numérica crescente e decrescente – Matemática por participante | | | | | | | | | | | |
| | cresc | decresc | cresc | decresc | cresc | decresc | cresc | decresc | cresc | decresc | |
| D | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 | 8 | 5 | 6 | 6 | 59 |
| M | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | - | - | 48 |
| Número de tentativas de seqüência numérica crescente e decrescente – Matemática por participante | | | | | | | | | | | |
| | quant-quant | quant-quant | quant-quant | quant-quant | nº/ quant | nº/ quant | nº/ quant | nº/ quant | nº/ quant | nº/ quant | |
| J | 10 | 9 | 9 | 6 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 | - | 80 |
| D. | 9 | 9 | 9 | 9 | 8 quant-quant | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 89 TT |
| B. | 7 | 7 | 10 | 9 | 9 quant-quant | 7 quant-quant | 9 | 9 | 10 | 11 | 88 |
| Número de tentativas de correspondência entre palavra impressa e figura – Leitura por participante | | | | | | | | | | | |
| | figura-figura | palavra-figura | figura-figura | figura-figura | palavra-figura | palavra-figura | figura-figura | palavra-figura | figura-figura | figura-figura | |
| B. | 12 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 06 | 14 | 15 | 13 | 135 |
| J | 15 | 14 | -* | - | - | - | - | - | - | - | 29 |
| Número de tentativas de discriminação condicional da emoção alegria em expressões faciais – Expressividade emocional por participante | | | | | | | | | | | |
| | 14 escolha forçada | 9 auditivo-figura | 14 escolha forçada | 10 auditivo-figura | 13 escolha forçada | 9 auditivo-figura | 14 escolha forçada | 9 auditivo-figura | 14 escolha forçada | 9 auditivo-figura | |
| M | 14 escolha forçada | 9 auditivo-figura | 14 escolha forçada | 10 auditivo-figura | 13 escolha forçada | 9 auditivo-figura | 14 escolha forçada | 9 auditivo-figura | 14 escolha forçada | 9 auditivo-figura | 115 |

Nota. * significa falha de procedimento.

Aquisição e análise geral de dados de fNIRS: As tarefas alvo e controle foram apresentadas conforme descrito na Tabela 1 e eram apresentadas em um *notebook*. Já, para aquisição dos dados de fNIRS, era utilizado um sistema de onda contínua *NIRSports System (NIRx Medical Technologies, Glen Head, New York, Estados Unidos)* com oito emissores e oito detectores, com modulação em dois comprimentos de onda de luz (760 nm e 850 nm).

Os optodos foram posicionados em uma touca de tecido escuro, para reduzir o ruído da luz externa. A disposição dos optodos foi representada na Figura 4. Dessa forma, obteve-se uma disposição de 28 canais (20 de longo alcance e oito de curto alcance) colocados bilateralmente sobre o córtex pré-frontal. Os optodos registraram os sinais hemodinâmicos durante a realização das tarefas computadorizadas apresentadas em blocos de 30 segundos, conforme descrito na Tabela 1. Os sinais foram registrados a uma taxa de amostragem de 7,91 Hz.

Os sinais hemodinâmicos foram processados e analisados pelo *software* nirsLAB v2019.04 (*NIRx Medical Technologies*). Utilizou-se um Modelo Linear Geral, com método de estimação robusto a artefatos de movimento e autocorrelação serial, com base em Huppert (2016). A escolha do referido modelo foi feita com base no seu uso e recomendação para testar estatisticamente se houve ativação em cada área cerebral avaliada.

Foram calculadas diferenças na concentração de oxihemoglobina/desoxihemoglobina nos estudantes entre as tarefas-alvo e tarefas-controle, assim como entre momentos de repouso e resposta de observação (tarefa-comparação). Nas atividades de sequência numérica, foram feitas comparações da tarefa-alvo com o repouso, assim como da tarefa-controle com repouso e comparativo entre as condições. Nas atividades de conceitos de dúzia e meia dúzia, foram feitas comparações entre as tarefas de dúzia e meia dúzia.

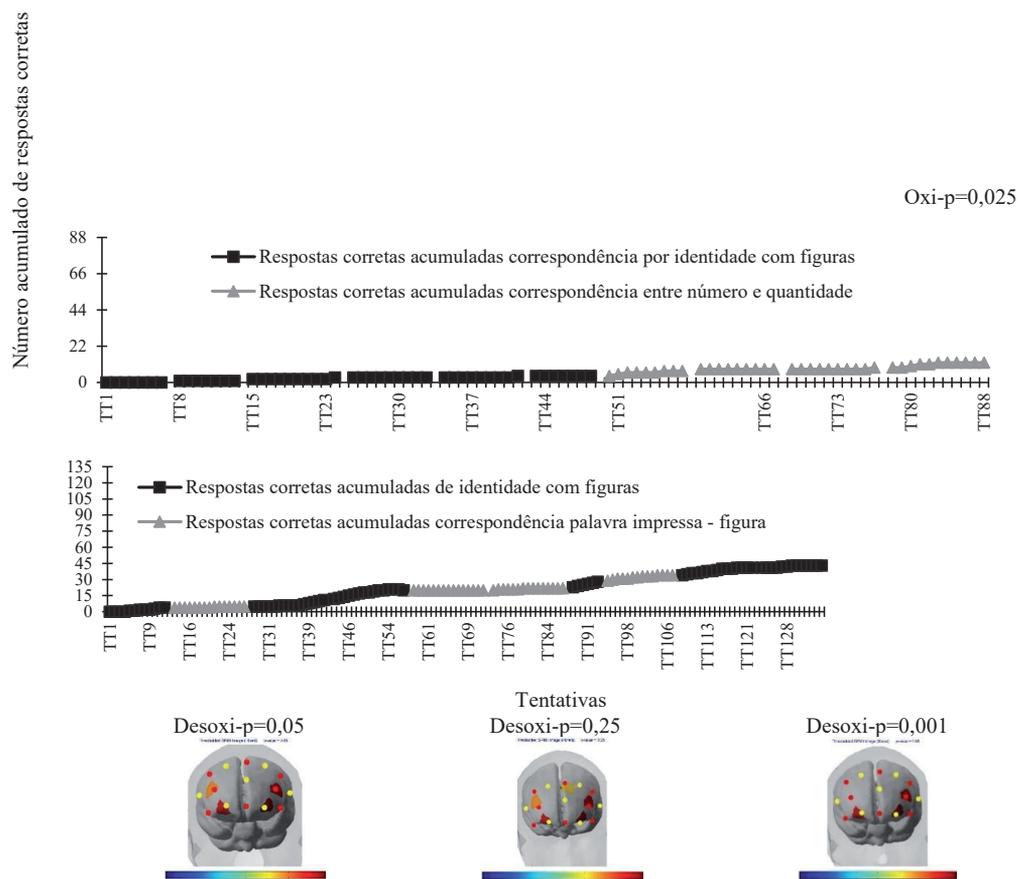
Como se trata de um estudo exploratório, foi aplicado um teste de inferência estatística de hipóteses de significância (Erro Tipo I) com diferentes níveis de significância que foram empregados ($p < 0,0025$, $p < 0,01$ ou $p < 0,05$). Para análise do desempenho dos participantes, foi feita a curva de respostas corretas acumuladas em cada condição, assim como a análise do número de tentativas apresentadas até completar o bloco de 30 segundos.

3 RESULTADOS

Os dados foram analisados com base no número acumulado de respostas corretas nas tarefas alvo e controle, por participante. Ademais, foi feita a análise estatística para verificar se existia diferença significativa da resposta hemodinâmica na tarefa-alvo em relação à tarefa controle e ao repouso/resposta de observação. A Figura 5 mostra os dados de B nas tarefas de correspondência das relações de identidade quantidade-quantidade e número-quantidade. A tarefa de identidade funcionou como controle, pois apresentou maior número de acerto em relação à tarefa alvo. Já a tarefa de identidade com quantidade pareceu não ter funcionado como controle, pois teve baixo número de acertos em relação à tarefa alvo (número-quantidade).

Figura 5

Desempenho de B na discriminação condicional de número-quantidade (alvo na área da matemática) e de palavra impressa-figura (alvo na área de leitura)

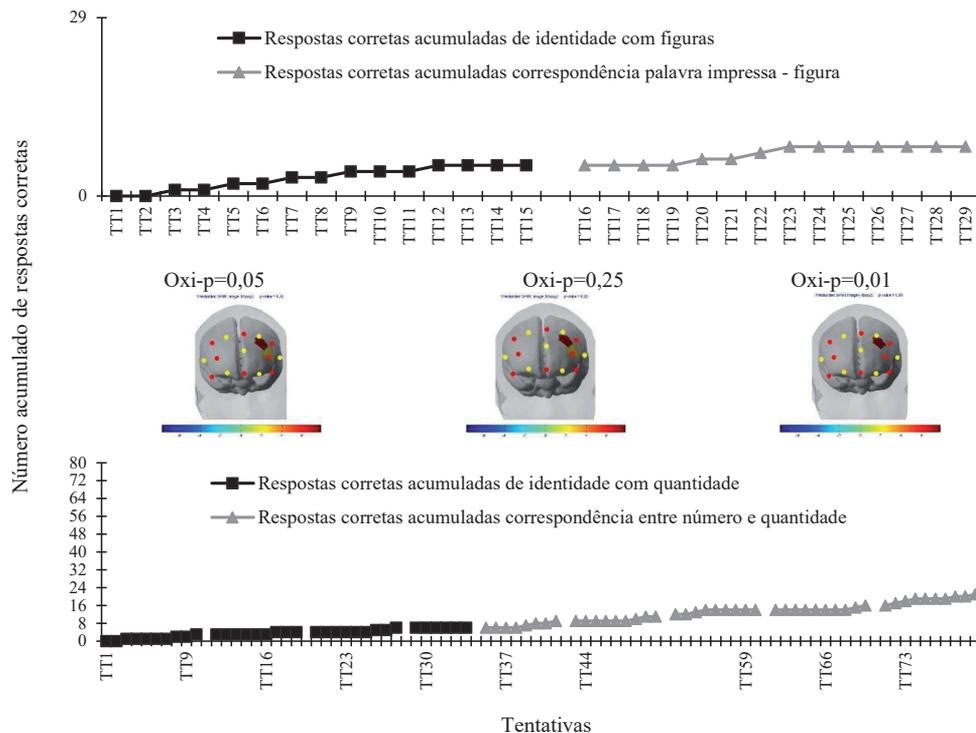


Nota. A barra de cores (*colorbar*) dos mapas de ativação representa o valor da estatística T, os pontos amarelos e vermelho representam os optodos, e o borrão entre tais pontos representa a ativação.

A Figura 6 mostra o desempenho de J nas tarefas de leitura e de matemática (sequência crescente e decrescente e número – quantidade). J, na tarefa de leitura, gerou o mapa de ativação na comparação da condição alvo com a condição controle, utilizando nível de significância de 0,05 em oxihemoglobina, com maior número de acertos na condição controle, em relação à condição alvo. A tarefa de identidade de figuras apresentou maior número de acertos (n=5), em relação à tarefa de correspondência entre palavra e figura (n=3). Já, na tarefa de correspondência entre número e quantidade, a tarefa controle (n=5) foi considerada como mais difícil para J, em relação à tarefa alvo, que obteve maior número de acertos (n=11).

Figura 6

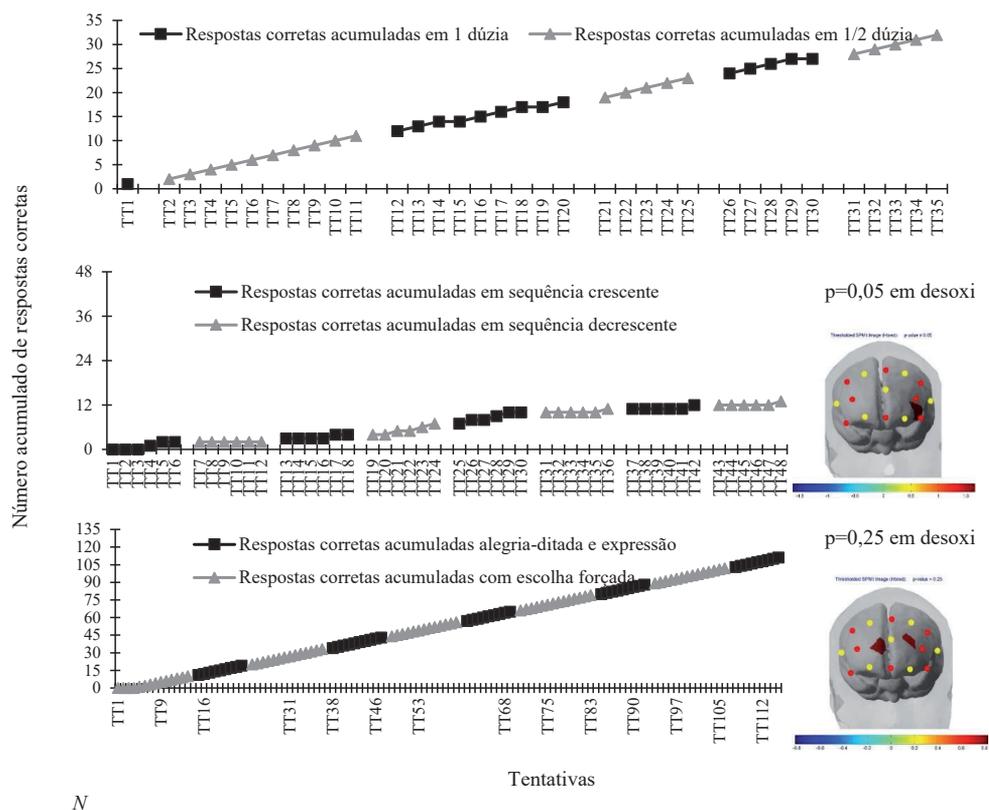
Desempenho de J na atividade de leitura (gráfico superior) e número-quantidade (gráfico inferior)



Nota. A barra de cores (*colorbar*) dos mapas de ativação representa o valor da estatística T, os pontos amarelos e vermelho representam os optodos, e o borrão entre tais pontos na cor vinho representa a ativação.

A Figura 7 mostra o desempenho de M na tarefa de dúzia e meia dúzia, assim como de expressividade emocional. M na tarefa de conceito de dúzia e meia dúzia respondeu corretamente a todas as tentativas de conceito de meia dúzia, o que evidencia a função da tarefa como controle para M. A análise estatística não teve diferença estatística e, portanto, não gerou o mapa de ativação cerebral. De 15 tentativas de dúzia, M respondeu a nove corretas. Na tarefa de expressividade emocional, M, ao compreender a instrução tanto para tarefa controle, como alvo, respondeu corretamente a todas as tentativas nas duas condições.

Figura 7
Desempenho de M nas tarefas de dúzia e expressividade emocional

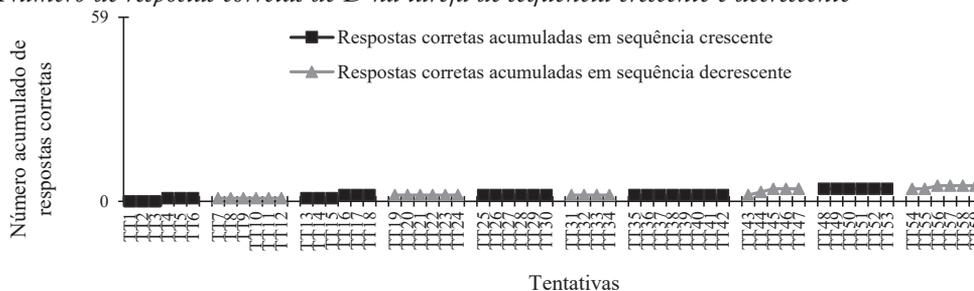


Nota. As respostas hemodinâmicas referentes à tarefa de dúzia e meia dúzia não geraram mapa de ativação, pois não resultaram diferenças significativas. Já os mapas de ativação das tarefas de expressividade emocional são apresentados, representando os pontos amarelo e vermelho os optodos, e o borrão entre tais pontos representa a estatística T de ativação, seguindo o *colorbar* abaixo da figura. O vinho representa maior significância (força estatística)

As Figuras 8 e 9 mostram o desempenho de D nas tarefas de matemática (número e quantidade – Figura 8, bem como sequência crescente e decrescente – Figura 9).

Figura 8

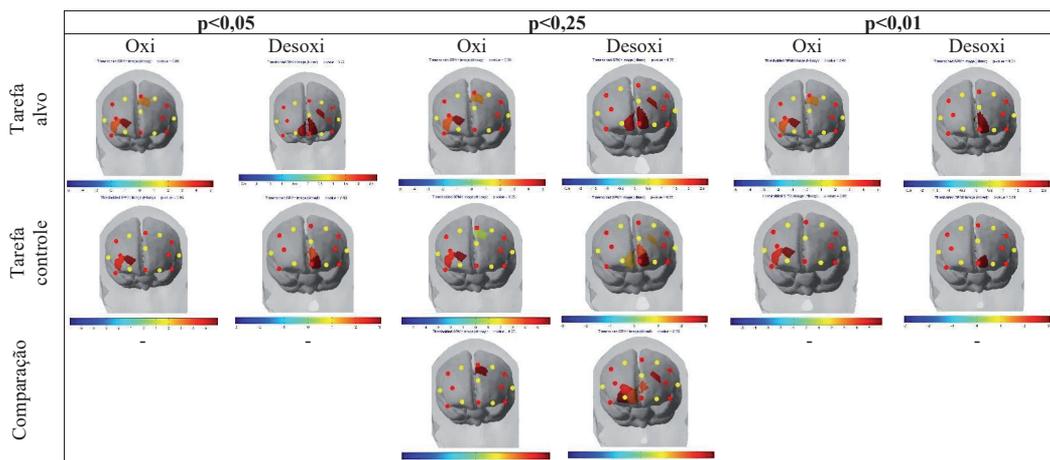
Número de respostas corretas de D na tarefa de sequência crescente e decrescente



O Quadro 3 mostra os mapas de ativação gerados com as análises das respostas hemodinâmicas nas tarefas de sequência crescente e decrescente.

Quadro 3

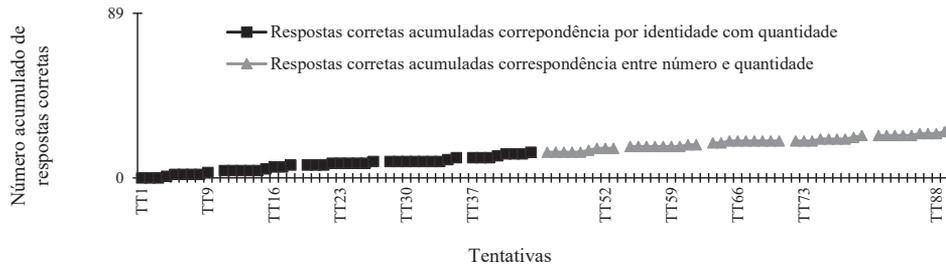
Mapas de ativação de D nas tarefas de sequência crescente e decrescente para os três níveis de significância analisados no estudo



Nota. Os pontos amarelo e vermelho representam os optodos, e o borrão entre tais pontos representa a ativação. O traço (-) indica que a análise não resultou em diferença estatisticamente significativa e, portanto, não gerou o mapa de ativação. O borrão entre tais pontos representa a estatística T de ativação, seguindo o *colorbar* abaixo da figura. O vinho representa maior significância (força estatística)

D, na tarefa de sequência crescente e decrescente, de 59 oportunidades, respondeu duas tentativas corretas na sequência crescente e três na sequência decrescente, porém, em análise do padrão de resposta, verificou-se que D estava sob controle da posição, respondendo, na maioria das vezes, para o estímulo de comparação que ocupava a posição no meio da sequência. Na tarefa de número-quantidade (Figura 9), respondeu 14 tentativas corretas para a tarefa de identidade de quantidade, de um total de 44 oportunidades e 11 respostas corretas na tarefa número-quantidade, de um total de 45. Para as duas tarefas, foram apresentados os mapas de ativação cerebral, com base na análise das respostas hemodinâmicas.

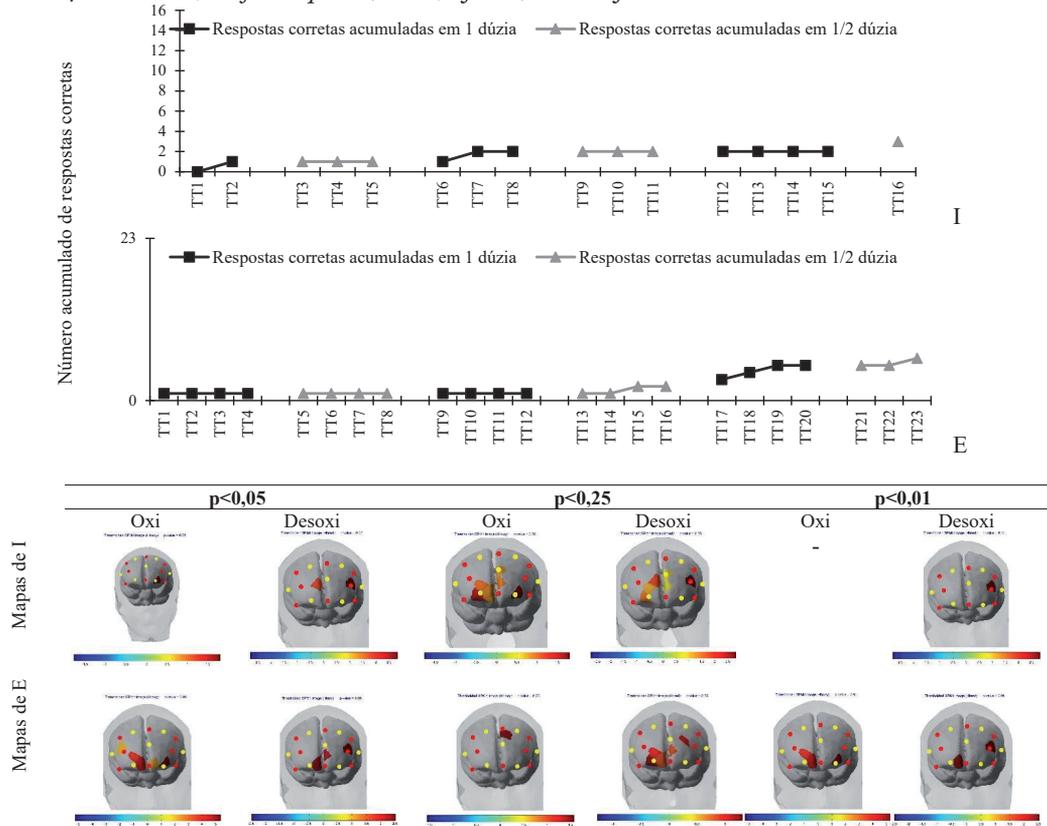
Figura 9
Desempenho de D na tarefa de número e quantidade



A Figura 10 mostra os desempenhos de I e E nas tarefas de dúzia e meia dúzia. Para E, as repostas hemodinâmicas apresentaram diferenças significativas em $p < 0,05$, $P0 < 0,25$ e $p < 0,01$ no desempenho de E nas tarefas de dúzia, em relação à meia dúzia. I respondeu duas tentativas corretas na condição de dúzia e uma em meia dúzia, enquanto E respondeu três tentativas corretas em dúzia e duas em meia dúzia.

Figura 10

Desempenho de I (Gráfico superior) e E (inferior) na tarefa de dúzia e meia dúzia



Nota. Os mapas de ativação foram apresentados, representando os pontos amarelo e vermelho os optodos, e o borrão entre tais pontos representa a estatística T de ativação, seguindo o *colorbar* abaixo da figura. O vinho representa maior significância (força estatística).

De maneira geral, o estudo da ativação foi conduzido, a partir do aumento de concentração de oxigênio (oxihemoglobina – oxi) ou na diminuição de desoxihemoglobina (desoxi – na ausência de oxigenação, ou seja, falta de O₂). Isso é possível, uma vez que, após o aumento metabólico em uma região, o cérebro, para compensar esse aumento e manter a homeostase, aumenta o fluxo sanguíneo para a região. Isso implica aumento na oxigenação local (oxihemoglobina) e consequente diminuição na concentração em desoxihemoglobina que permitiu gerar os mapas de ativação durante a realização das tarefas supracitadas.

4 DISCUSSÕES

O estudo de caráter exploratório teve como objetivo geral verificar a viabilidade de uso do fNIRS em situação naturalística clínica com crianças e jovens com TEA e/ou DI, por meio da comparação de respostas hemodinâmicas na execução das tarefas que já apresentavam

domínio prévio (ou seja, respondiam de maneira independente, sem ajuda/dica, conforme documentado nos PEIs), em relação àquelas que estavam em intervenção/ensino (o que significa que não tinham atingido o critério de aprendizagem e, portanto, necessitavam de ajudas/dicas ou ainda procedimentos adicionais para responderem às tarefas de discriminação, de acordo com os PEIs analisados). Os resultados mostraram a viabilidade de uso do fNIRS nesse contexto natural da criança e do jovem e analisou medidas implícitas de oxigenação cerebral, para além das medidas observáveis, como acerto e erro na tarefa.

Os dados de repertório de entrada (Figuras 1 e 2) serviram de base para a caracterização de participantes, assim como orientaram a escolha das tarefas, conforme o PEI que estava em implementação. Os dados da Figura 3 mostram o repertório matemático elementar dos três jovens e permite identificar os déficits pedagógicos nessa área basilar do conhecimento e, com isso, identificar a distorção entre o repertório matemático atual de jovens matriculados no Ensino Médio (Quadro 1), em relação às exigências do currículo, replicando as preocupações relacionadas à aprendizagem desses estudantes, identificadas em estudos anteriores (Benitez et al., 2017; Gomes & Mendes, 2010; Ribeiro et al, 2017) e no boletim da Fundação Carlos Chagas – FCC (2021), referente à aprendizagem no período de isolamento, em função da pandemia de SARS-CoV-2.

A escolha das tarefas com base nos acertos e erros das tarefas já realizadas e documentadas no PEI do estudante mostraram variabilidade no número de acerto ao realizá-las durante o tempo de 30 segundos com a touca e optodos. Para B, a leitura foi compatível ao esperado em relação ao número de acerto na tarefa controle e alvo. Contudo, para a tarefa de número-quantidade, a tarefa controle que era prevista maior número de acerto foi considerada mais difícil. O mesmo padrão foi replicado com J para as duas tarefas. Recomenda-se que estudos futuros realizem aplicação pré-experimental com uso da touca para garantir a habituação da tarefa no formato informatizado, assim como no tempo de 30 segundos esperado para alternância entre tarefas.

Outro ponto identificado na análise dos vídeos se referiu ao controle por posição nas respostas de D na tarefa de sequência, o que inviabilizou qualquer conclusão relacionada à função da tarefa controle e alvo. Sugere-se ampliação do número de tentativas para análises mais precisas desse tipo de responder, assim como modificação na instrução da tarefa e, se necessário, mudança na posição de apresentação dos estímulos de comparação na tela.

O número de tentativas para aplicação blocada de 30 segundos também foi uma variável importante que mostrou variabilidade entre participantes e conforme o tipo da tarefa. As tarefas de leitura (B = 135 tentativas – Quadro 2) e expressividade emocional (M = 115 tentativas) apresentaram maior número de tentativas em relação às demais. Já a tarefa de conceito de dúzia e meia dúzia foi aquela com menor número de tentativa (35 para M, 23 para E e 16 para I).

Para estabelecimento do tempo de cinco minutos necessários para aplicação dos blocos intercalados de 30 segundos das tarefas, foi feita uma linha de base com uso da touca em relação ao tempo de permanência, durante a intervenção comportamental que era aplicada na clínica, no contexto da rotina de trabalho. Caso a criança/o jovem retirasse a touca anterior ao tempo de cinco minutos, foi feita a aproximação sucessiva, escalonando a cada cinco segundos o tempo de permanência da touca, até alcançar cinco minutos. Todas as crianças e todo os

jovens alcançaram o tempo de cinco minutos nas sessões de rotina da clínica, anteriores à realização das atividades com o fNIRS, sem a necessidade de sistematização da dessensibilização.

A tolerância do uso do fNIRS pelas crianças e pelos jovens brasileiros com TEA e/ou DI, no contexto da Educação Especial, mostrou viabilidade de uso; contudo, certas preocupações foram identificadas para análises futuras, sobretudo no que diz respeito à escolha da atividade e à permanência da touca no dia da avaliação, evitando tocar a cabeça ou movimentá-la durante a realização da tarefa. Garantir a qualidade do sinal, via optodo fixado na touca, ainda é um desafio a ser superado em estudos futuros, pois, no presente estudo, o uso de um procedimento de aproximação sucessiva no cotidiano clínico pareceu não ter sido suficiente para generalização no dia da avaliação com o fNIRS.

A revisão sistemática de uso de fNIRS com populações com DI e/ou TEA mostrou que a produção científica da área parece estar centrada na avaliação diagnóstica, com o objetivo de identificar padrões cerebrais que podem auxiliar na compreensão da organização do circuito neural e da atividade cortical cerebral no público infantil (Conti et al., 2022), assim como na identificação de biomarcadores quantitativos com adultos com autismo (Mazzoni et al., 2019).

Os esforços centrados no presente estudo estão relacionados ao uso da resposta hemodinâmica do córtex pré-frontal para apoiar a intervenção e, principalmente, orientar a tomada de decisão com relação ao estabelecimento do critério de aprendizagem. Na intervenção comportamental, a programação de ensino de habilidades (e.g. leitura, matemática e expressividade emocional) requer a identificação do repertório de entrada de crianças/jovens, o estabelecimento do objetivo de ensino que prevê a mudança de comportamento na criança/jovem, a descrição de comportamentos-alvo envolvidos no objetivo de ensino, a escolha adequada dos recursos, a sequência de comportamentos que se pretende ensinar, tendo como base a habilidade mais elementar para a mais complexa, com uso de critério de aprendizagem que favoreça a aquisição, manutenção e generalização da aprendizagem e, por fim, a avaliação da programação de ensino.

Nesse contexto, uma das formas de estabelecer o critério de aprendizagem pode ser por meio do número de respostas independentes e autônomas com base no número total de oportunidades de ensino oferecidas na intervenção, ou, ainda, por meio da análise da latência da resposta, dentre outras possibilidades. Assim, para identificar se a aprendizagem (como uma mudança relativamente duradoura do comportamento – Catania, 1999) do comportamento ensinado foi adquirida, mantida e generalizada, pode-se utilizar medidas adicionais, para além do número de acertos e do tempo, como é o caso da resposta hemodinâmica avaliada no estudo.

Os dados do estudo mostraram que a análise das respostas hemodinâmicas oriundas do córtex pré-frontal gerou reflexões sobre a medida de manutenção da aprendizagem em relação às tarefas controles. Recomenda-se que estudos futuros utilizem tal medida para tomar decisões acerca de critérios de aprendizagem mais personalizados, que favoreçam o ritmo individual de aprendizagem, principalmente de crianças e jovens com apoio intenso do ambiente.

Outra medida adicional que se tem mostrado útil nesse contexto se refere ao rastreamento ocular, tanto para tomar decisões acerca do critério de aprendizagem, como para analisar o processo atencional em relação ao controle de estímulos de crianças e jovens na

tarefa (Cavalcante et al., 2020). Sugere-se que estudos futuros utilizem análises combinadas de processamento visual e resposta hemodinâmica como complementar ao desempenho na tarefa para tomar decisão acerca dos critérios de aprendizagem utilizados na programação de ensino da intervenção comportamental, no contexto da Educação Especial.

O paradigma adotado no estudo para avaliar a conectividade funcional nas condições propostas (alvo, controle e comparação) por meio de blocos de 30 segundos de apresentação foi utilizada com base na literatura prévia (Conti et al., 2022; Mazzoni et al., 2019) e sugere que o fNIRS pode ser considerado um método promissor para analisar os mapas de ativação gerados por meio da análise inferencial estatística na execução de tarefas educacionais e orientar futuros planejamentos educacionais mais personalizados, sobretudo para os casos de jovens adultos com apoios intensos do ambiente.

O uso do fNIRS em estudos prévios (Conti et al., 2022; Mazzoni et al., 2019), como já mencionados, apresentaram objetivos relacionados à avaliação diagnóstica do autismo e da DI e se dedicaram às análises cerebrais, sem considerar os aspectos comportamentais, educacionais e ambientais (e.g. intensidade de apoio). Como já recomendado na Lei Brasileira de Inclusão – Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015 –, é fundamental que seja realizada uma avaliação pautada no modelo biopsicossocial da deficiência, por meio da análise de impedimentos e de funcionalidade da pessoa, bem como os fatores socioambientais, psicológicos e pessoais.

Assim, o pacote de estratégias utilizado no estudo, por meio da Escala SIS (Almeida et al., 2016), do PRAHM (Costa et al., 2017) e da avaliação da rede de leitura para identificar a necessidade de apoio e orientar o planejamento dos objetivos de ensino, em conjunto com a análise do número de respostas corretas independentes e das respostas hemodinâmicas, foi suficiente para apoiar o planejamento e a avaliação da intervenção comportamental no contexto da Educação Especial. Recomenda-se que estudos futuros com fNIRS na Educação Especial caracterizem os aspectos educacionais e pedagógicos da amostra envolvida, a fim de garantir um modelo pautado nos aspectos biopsicossociais da pessoa com deficiência.

5 CONCLUSÕES

A aplicação do fNIRS no contexto da Educação Especial, em situação natural, mostrou viabilidade e recomendações para aplicações futuras, são elas: a) análise do repertório de entrada da criança e do jovem, por meio de avaliações sistemáticas e do PEI para proposição da tarefa controle (que já atingiu o critério de aprendizagem e se encontra em manutenção ou generalização) e alvo (que está em fase de ensino, com necessidade de dicas/ajudas); b) treino pré-experimental das tarefas controle e alvo no computador e com tempo bloqueado de 30 segundos; c) mobiliário necessário para aplicação (mesa infantil para crianças), disposição das pessoas no ambiente de coleta de dados; d) número de tentativas personalizado para cada estudante, conforme pré-teste conduzido para identificar rendimento médio de 30 segundos; e) uso da touca de banho ou da própria touca de coleta de dados durante a realização de tarefas educacionais para dessensibilização de uso do fNIRS e da técnica da modelagem para garantir o tempo necessário de aplicação das tarefas.

Os dados reunidos mostram que o planejamento do experimento para uso do fNIRS como medida complementar de análise da aprendizagem de comportamentos específicos em

crianças e jovens com DI e/ou TEA pode ser útil para auxiliar na tomada de decisão com relação aos critérios de aprendizagem previamente propostos nos PEIs de estudantes. Assim sendo, a situação experimental proposta mostrou a viabilidade do uso de fNIRS para análise de respostas hemodinâmicas do córtex pré-frontal. Mediante esses achados, estudos futuros podem utilizar as respostas hemodinâmicas na definição mais precisa de critérios de aprendizagem e verificar se, de fato, o desempenho (acerto na tarefa) se mantém ao longo do tempo, criando oportunidade para validação de condições de ensino e apoiando o planejamento educacional de maneira personalizada para estudantes com autismo e/ou DI.

AGRADECIMENTOS

O trabalho foi financiado pelo Convênio de Pesquisa entre a Universidade Federal do ABC (UFABC) e a Clínica CLIA: Psicologia, Saúde e Educação nos anos de 2021 (Processo UFABC nº 23006.000056/2020-61) e 2022 (Processo UFABC nº 23006.00020246/2021-86), sob coordenação de Priscila Benitez.

Priscila Benitez e Thainá Letícia Dourado Moura agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela Bolsa de Iniciação Científica no país - Processo nº 2020/04777-3.

João Ricardo Sato agradece os auxílios da FAPESP 2018/21934-5, 2021/05332-8 e de Jackson Cionek (*BrainSupport*) pelo apoio tecnológico.

O trabalho foi desenvolvido no âmbito da Chamada de Propostas (2019) da FAPESP e da Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) – Processo nº 2019/25795-2, sob coordenação de Marcelo Salvador Caetano.

O trabalho é produto de pesquisas e parcerias engendradas no âmbito do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia sobre Comportamento, Cognição e Ensino (INCTECCE), financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (#573972/2008-7) e pela FAPESP (2008/57705-8). Agradecemos à Professora Deisy das Graças de Souza, presidente do Instituto, pelo incentivo e encorajamento para a condução e publicação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Almeida, M. A., Boueri, A. Z., & Postalli, L. M. M. (2016). A Escala de Intensidade de Suporte SIS no Brasil. *Journal of Research in Special Education Needs*, 16(1), 60-64. <https://doi.org/10.1111/1471-3802.12125>
- Balardin, J. B., Morais, G. A. Z., Furucho, R. A., Trambaiolli, L., Vanzella, P., Biazoli Jr., C., & Sato, J. R. (2017). Imaging Brain Function with Functional Near-Infrared Spectroscopy in Unconstrained Environments. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 1-7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00258>
- Barreto, C., Albuquerque Bruneri, G. de, Brockington, G., Ayaz, H., & Sato, J. R. (2021). A new statistical approach for fNIRS hyperscanning to predict brain activity of preschoolers' using teacher's. *Frontiers in human neuroscience*, 15, 181. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.622146>

- Benitez, P., Gomes, M. L. C., Bondioli, R., & Domeniconi, C. (2017). Mapeamento das estratégias inclusivas para estudantes com deficiência intelectual e autismo. *Psicologia em Estudo*, 22(1), 81-93. <https://doi.org/10.4025/psicolestud.v22i1.34674>
- Brockington, G., Balardin, J. B., Morais, G. A. Z., 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(1-7). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01840>
- Catania, A. C. (1999). *Aprendizagem: comportamento, linguagem e cognição*. Artmed.
- Cavalcante, T., Soares, J. F., Paiva, A., Maia, I. M. O., Benitez, P., & Soares, A. (2020). Eye tracking como estratégia educacional inclusiva: avaliação com estudantes com autismo. *Revista Brasileira de Informática na Educação (RBIE)*, 28, 1181-1204. <http://dx.doi.org/10.5753/rbie.2020.28.0.1181>
- Conti, E., Scaffei, E., Bosetti, C., Marchi, V., Constanzo, V., Dell'Oeste, V., Mazziotti, R., Dell'Osso, L., Carmassi, C., Muratori, F., Baroncelli, L., Calderoni, S., & Battini, R. (2022). Looking for "fNIRS Signature" in Autism Spectrum: A Systematic Review Starting From Preschoolers. *Frontiers in Neuroscience*, 16, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.785993>
- Costa, A. B. da, Picharillo, A. D. M., & Elias, N. C. (2017). Avaliação de habilidades matemáticas em crianças com síndrome de Down e com desenvolvimento típico. *Ciência & Educação*, 23, 255-272.
- Ferrari, M., & Quresima, V. (2012). A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *NeuroImage*, 63, 921-935. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.03.049>
- Fonseca, M. L. (1997). *Diagnóstico de repertórios iniciais de leitura e escrita: Uma análise baseada na concepção de relações de equivalência* [Dissertação de Mestrado, não publicada]. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil.
- Fundação Carlos Chagas. (2021). *Inclusão Escolar em Tempos de Pandemia*. <https://www.fcc.org.br/inclusao-escolar-em-tempos-de-pandemia/>
- Gomes, C. G. S., & Mendes, E. G. (2010). Escolarização inclusiva de alunos com autismo na rede municipal de ensino de Belo Horizonte. *Revista Brasileira de Educação Especial*, 16(3), 375-396. <https://doi.org/10.1590/S1413-65382010000300005>
- Huppert, T. J. (2016). Commentary on the statistical properties of noise and its implication on general linear models in functional near-infrared spectroscopy. *Neurophotonics*, 3(1), 1-11. <https://doi.org/10.1117/1.nph.3.1.010401>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2011). *Sinopse do censo demográfico: 2010*. IBGE. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv49230.pdf>
- Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. (2021a). *Censo da Educação Básica 2021. Notas Estatísticas*. https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/notas_estatisticas_censo_escolar_2021.pdf
- Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. (2021b). *Resumo Técnico. Censo Escolar da Educação Básica 2021*. https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_escolar_2021.pdf
- Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm

- Mazzoni, A., Grove, R., Eapen, V., Lenroot, R. K., & Bruggemann, J. (2019). The promise of functional near-infrared spectroscopy in autism research: What do we know and where do we go?. *Social Neuroscience*, 14(5), 505-518. <https://doi.org/10.1080/17470919.2018.1497701>
- Mendes, E. G. (2019). A Política de Educação Inclusiva e o Futuro das Instituições Especializadas no Brasil. *Arquivos Analíticos de Políticas Educativas*, 27(22), 1-27.
- Ministério da Educação. (2008). *Política Nacional de Educação Especial na perspectiva da Educação Inclusiva*. <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/politica.pdf>
- Oku, A. Y. A., & Sato, J. R. (2021). Predicting student performance using machine learning in fNIRS data. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.622224>
- Ribeiro, D. M., Melo, N. R. C., & Sella, A. C. (2017). A inclusão de estudantes com autismo na rede municipal de ensino de Maceió. *Revista Educação Especial*, 30, 425-440. <https://dx.doi.org/10.5902/1984686X>
- Zerbato, A. P., & Mendes, E. G. (2021). O desenho universal para a aprendizagem na formação de professores: da investigação às práticas inclusivas. *Educação e Pesquisa*, 47, 1-19. <https://doi.org/10.1590/S1678-4634202147233730>
- Zhang, F., & Roeyers, H. (2019). Exploring brain functions in autism spectrum disorder: A systematic review on functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) studies. *International Journal of Psychophysiology*, 137, 41-53. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.01.003>