



POTENCIAL DO EEG E DO EYE TRACKING NA EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA SOB A ÓTICA DA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E APROXIMAÇÕES CONCEITUAIS

POTENTIAL OF EEG AND EYE TRACKING IN DISTANCE EDUCATION FROM THE PERSPECTIVE OF MEANINGFUL LEARNING THEORY - BIBLIOGRAPHIC REVIEW AND CONCEPTUAL APPROACHES

SIGNE DAYSE CASTRO DE MELO E SILVA

DANIEL DE QUEIROZ CAVALCANTI

VALDECIR BECKER

RESUMO

O avanço das tecnologias enriqueceu o ambiente escolar e é objeto de discussões em todas as esferas da sociedade, como nos processos decisórios de alocação de recursos em políticas públicas. No entanto, não se tem por certo a garantia de sucesso no retorno de investimentos e ações governamentais quando tratamos de resultados. O uso do EEG e do Eye Tracking na educação à distância abre um portal de possibilidades de aferição de resultados efetivos por meio de mapeamento. Este estudo objetiva o levantamento de bibliografia preliminar sobre o tema, por meio da revisão narrativa de literatura. Como resultado preliminar apresentamos 27 trabalhos, onde os conceitos-chave utilizados nos estudos, os equipamentos de trabalho e os *softwares* para o mapeamento foram levantados. Dessa forma, identifica-se o potencial do EEG e eye tracking para a coleta de dados que podem subsidiar os professores quanto a atenção, divagação, concentração e engajamento de seus estudantes, fatores consideráveis no processo de aprendizagem significativa.

Palavras-chave: EEG, Eye Tracking, Ensino-Aprendizagem, Aprendizagem Significativa.

ABSTRACT

The advancement of technologies has enriched the school environment and is the subject of discussions in all spheres of society, such as in decision-making processes for the allocation of resources in public policies. However, there is no guarantee of success in the return of investments and government actions when it comes to results. The use of EEG and Eye Tracking in education opens a portal of possibilities for measuring effective results through mapping. This study aims to survey the preliminary bibliography on the subject, through a narrative literature review. As a preliminary result, we present 27 works, where the key concepts used in the studies, the work equipment and the software for mapping were raised.

Key-words: EEG, Eye Tracking, Teaching-Learning, Meaningful Learning.

INTRODUÇÃO

A Teoria da Aprendizagem Significativa propõe que no processo de aprendizagem os novos conhecimentos e informações são integrados de maneira relevante e pertinente aos conhecimentos, experiências e conceitos já existentes na mente do aluno. Esse tipo de aprendizado contrasta com uma aprendizagem superficial, onde o foco está na memorização sem compreensão real do conteúdo, (MOREIRA, 2006).

A TAS - Teoria da Aprendizagem Significativa, foi proposta pelo psicólogo educacional David Ausubel e está relacionada ao processo de construção ativa do conhecimento pelo aprendiz. Algumas características da aprendizagem significativa incluem a necessidade de disposição de subsunçores específicas, ou seja, os novos conceitos e informações são relacionados ao que o aluno já conhece e entende. Isso ajuda a ancorar o novo aprendizado em uma base sólida e a criar conexões potencialmente significativas. Além disso, a compreensão profunda, explica que o aprendiz não apenas memoriza informações, mas também apreende os conceitos subjacentes (VALADARES e MOREIRA, 2009).



Ainda nesta perspectiva, essa aprendizagem é capaz de explicar, aplicar e relacionar o que o indivíduo aprendeu em diferentes contextos. Já a relevância e aplicabilidade explicam que os novos conhecimentos têm significado e utilidade para o aprendiz. Eles podem ser aplicados em situações do mundo real, tornando o aprendizado mais prático e valioso. Assim, também, a ativação do processo cognitivo significa que a aprendizagem significativa envolve a reflexão, a análise e o pensamento crítico. O aprendiz está envolvido em um processo mental mais profundo. E, finalmente, a integração e construção de conhecimento, que significam que novos conhecimentos são integrados ao conhecimento prévio, formando uma rede de conceitos interconectados (MOREIRA, 2006).

Um exemplo clássico de aprendizagem significativa é quando alguém aprende um novo conceito científico relacionando-o a situações do cotidiano ou a outros conceitos já conhecidos. Ao fazer essas conexões, o aprendiz potencializa uma compreensão mais profunda e duradoura. Os educadores frequentemente buscam promover a aprendizagem significativa em suas práticas pedagógicas, incentivando os alunos a participar ativamente do processo de aprendizado, relacionar o conteúdo aos conhecimentos apreendidos com suas próprias experiências e construir um entendimento autêntico dos conceitos. Isso contribui para um aprendizado mais duradouro e significativo ao longo do tempo (VALADARES e MOREIRA, 2009).

Compreender e mapear os resultados efetivos do processo de ensino e aprendizagem, garantindo a agregação de novos conhecimentos aos anteriores e, por consequência, uma aprendizagem significativa, são um desafio categórico da atualidade e ensejam a questão principal deste estudo: como podemos melhorar a aprendizagem fazendo uso de novos recursos, como os de mapeamento da atenção e de engajamento de usuário, possibilitando uma maior efetividade e uma aprendizagem significativa? O principal objetivo foi o levantamento do estado da arte em artigos científicos, que apontam para o uso de eye tracking e eletroencefalografia como duas formas de melhoria do processo de ensino-aprendizado dentro do contexto da TAS.

No contexto educacional, a Teoria da Aprendizagem Significativa destaca que a aprendizagem é mais eficaz quando novos conhecimentos se relacionam com o conhecimento prévio dos alunos. Este artigo indica que tecnologias como o EEG e o Eye Tracking, ao medirem a atividade cerebral e os movimentos oculares dos alunos, fornecem insights sobre seu engajamento e compreensão. Ao analisar esses dados, os educadores podem personalizar o ensino, adaptando-o às necessidades individuais dos alunos, promovendo uma aprendizagem mais significativa e envolvente.

REFERENCIAL TEÓRICO

A distração ou a divagação mental é um elemento perturbador, quando tratamos da educação e dos processos de ensino e aprendizagem (REBECCHI e HAGÈGE, 2022; SZPUNAR e COLAB., 2013; WONG e COLAB., 2023). Neste estudo, entendemos por divagação mental o estado em que a mente vagueia ou se dispersa, afastando-se do foco ou da tarefa em mãos. É quando a atenção da pessoa se desvia para pensamentos, ideias ou preocupações que não estão diretamente relacionados ao que ela está fazendo ou pensando no momento (DIAS DA SILVA e POSTMA, 2020).

Em outras palavras, é quando a mente começa a divagar por diferentes pensamentos, muitas vezes de forma não intencional. A divagação mental pode ocorrer durante várias situações, como quando alguém está tentando se concentrar em um trabalho, estudo ou conversa, mas acaba se perdendo em pensamentos não relacionados. Isso pode acontecer por diversas razões, como tédio, distrações externas, fadiga mental ou até mesmo a natureza intrinsecamente ativa da mente humana, que muitas vezes pula de um pensamento para outro (DIAS DA SILVA e POSTMA, 2020; REBECCHI e HAGÈGE, 2022; SZPUNAR e COLAB., 2013; WONG e COLAB., 2023).

Na educação formal, a divagação dos alunos pode representar um problema no processo ensino-aprendizado. Presencialmente, o professor pode usar diferentes técnicas para acompanhar a concentração e o engajamento do aluno nas atividades pedagógicas. No entanto, nas atividades remotas ou à distância, o contato é virtual, e novas técnicas precisam ser incorporadas para avaliar a efetividade do aprendizado do aluno. Considerando os cinco princípios da TAS, duas técnicas podem ser de grande ajuda aos professores: o eye tracking e a eletroencefalografia (EEG).



A tecnologia de eye tracking é bem conhecida e utilizada em diversas áreas do conhecimento, tais como pesquisas de usabilidade, marketing, experimentos da psicologia cognitiva ou como entretenimento, em jogos. Seu funcionamento se baseia na detecção do movimento dos olhos de um usuário durante a interação. Isso pode ser feito através de diferentes ferramentas: webcams, câmeras infravermelhas, displays montados na cabeça. Os dados coletados podem fornecer informações relevantes sobre os usuários, como a sua atenção em um determinado objeto na tela, por exemplo (FARNSWORTH et al, 2023; BLASCHECK et. Al, 2014; FARNSWORTH, 2020).

Ao mapear o olhar do usuário, os pontos específicos que o usuário olhou são denominados “gaze point.”, ou pontos específicos da imagem. Um conjunto de gaze points agrupados em um determinado espaço em um período é chamado de “fixação” (BERRIDGE e WINKIELMAN, 2003).

Essa região é de grande importância para nosso estudo, pois é durante sua ocorrência que ocorrem os principais processos cognitivos do usuário, como compreensão e memória.

O movimento rápido realizado entre as áreas de “fixação” é chamado de “saccade”. Durante sua ocorrência, que corresponde entre 30 e 80 ms, a informação visual é suprimida. Um conjunto de “fixações” pode ser agrupado por proximidade em uma “gaze”, que por sua vez se organiza em “áreas de interesse” (AOI) (BERRIDGE e WINKIELMAN, 2003). O tempo gasto em cada AOI (“dwell time”) pode ser um fator que definirá o interesse do usuário em determinado estímulo apresentado na tela, e um tempo maior gasto pode significar um maior nível de interesse. Uma forma de observar esse fenômeno é por meio de mapas de calor (heatmaps), que apresentarão na tela os pontos que chamaram a atenção do usuário (BOKSEM e SMIDTS, 2015).

A segunda técnica apresentada neste artigo é o EEG, que analisa a atividade elétrica cerebral espontânea. Trata-se de uma técnica que detecta padrões e possíveis anormalidades nas ondas cerebrais (VECCHIATO, TOPPI, ASTOLFI, ET AL, 2011). A EEG captura a atividade elétrica do cérebro por meio de eletrodos dispostos sobre pontos específicos do crânio do usuário, de acordo com o sistema 10/20, um padrão internacionalmente seguido para o posicionamento dos eletrodos no epicrânio. Ele aponta para as partes do córtex onde se torna possível o registro das ondas cerebrais. Esse método apresenta uma boa resolução temporal, possibilitando a captura de informações em tempo real, mas com baixa resolução espacial. Nem toda informação extraída do cérebro pelo uso de EEG é relevante para os fins desejados. Se faz necessário a seleção das informações desejadas e o tratamento dos ruídos, assim como o processamento dos dados obtidos. Dessa forma, pode-se criar materiais de aprendizagem potencialmente significativos, ou, minimamente, identificar se o material utilizado está de fato sendo relacionado à estrutura cognitiva em bases substantivas e não arbitrarias.

Ondas da linha média-frontal beta são relacionadas às preferências individuais (LEE e HSIEH, 2014). Quanto maior a amplitude de oscilação na frequência de onda beta, observado por meio do EEG, durante a visualização de um trailer de filme, maior a nota atribuída pelos participantes da pesquisa a filmes relacionados aos filmes que foram assistidos os trailers. A dessincronização das ondas alpha do lado frontal-esquerdo do cérebro está positivamente relacionado ao nível de prazer e satisfação percebido ao assistir comerciais (BECKER e MACÊDO, 2023). Um aumento na potência das ondas theta na linha média-frontal é associada a sentimentos de prazer (CAVALCANTI, BECKER, et al., 2023).

Dessa forma, utilizando eye tracking e EEG, é possível gerar um diagnóstico sobre a percepção do usuário sobre os estímulos visuais, a fim de compreender melhor suas preferências e os processos emocionais e cognitivos que ocorrem naturalmente à medida que ele consome conteúdo em uma tela. Inicialmente, é possível alto grau de certeza sobre o olhar do aluno, que deve estar focado na tela do computador. Ao mesmo tempo, a atenção, o envolvimento com o conteúdo da aula e processos mentais de memorização podem ser auferidos com o EEG (JIN et al, 2019; HU et al, 2018).

Em outras palavras, o EEG e o Eye Tracking medem o engajamento e a atenção dos alunos. Essas tecnologias podem auxiliar na conexão do conteúdo novo ao conhecimento prévio, otimizando o processo de aprendizado para construir um ambiente educacional mais adaptativo e orientado ao aluno. Dessa forma, o processo de assimilação de significados por parte do aluno pode ser mais efetivo. As duas tecnologias em questão auxiliam no desenvolvimento de processos e materiais pedagógicos adequados à disposição do aluno



em relacionar o material a ser aprendido de modo substantivo e não arbitrário a sua estrutura cognitiva.

MÉTODOS

A educação de forma remota, imposta pela pandemia da Covid-19, gerou uma série de mudanças nas formas de aprendizagem (CHEN e WANG, 2015), principalmente na área da educação formal (CRICK, 2020). Uma das consequências foi a necessidade de adaptação, tanto por parte dos alunos, quanto dos professores, durante as aulas on-line (ISABEL e ROMERO, 2022; CHEN, 2022; SUSIANE, SALIMI, NGATMAN et AL, 2020). Buscando entender como tecnologias de mapeamento da atenção e concentração foram utilizadas para acompanhar o aprendizado, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, que se concentrou em três grandes áreas: Eye Tracking de forma isolada, EEG de forma isolada e a combinação de Eye Tracking com EEG. Dessa forma, se conecta à Teoria da Aprendizagem Significativa ao fornecer meios de adaptar o ensino às necessidades individuais dos alunos, promovendo uma assimilação mais profunda e personalizada do conhecimento; permitindo aos educadores entender como os alunos interagem com o conteúdo de maneira individualizada.

A pesquisa foi feita nas bases ACM Digital Library (ACM DIGITAL LIBRARY, 2023), Springer (SPRINGER LINK, 2023), e IEEE (IEEE XPLORE, 2023), que concentram grande quantidade de resultados de pesquisas interdisciplinares sobre computação e educação. As palavras chave iniciais desta revisão narrativa da literatura foram educação, atenção, emoção e mapeamento (e as respectivas traduções para o inglês). Na sequência, a pesquisa se concentrou nas palavras chave educação, eye tracking e EEG.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, nas pesquisas que exploraram o uso de EEG e Eye Tracking (ATIQ e LOUI, 2022; HUTT, 2017, 2019; PEI, XU, ZHOU et AL, 2022), foram utilizadas tecnologias como rastreadores oculares, especificamente o EyeTribe, identificado como COTS (Commercial off-the-shelf), e o iMotions, um software que sincroniza diversas fontes de dados, incluindo biomarcadores, pesquisas e captura de tela. No contexto do GuruTutor (HUTT, 2017), um avatar que fornece instruções virtuais aos alunos, o rastreador ocular foi fixado em um computador portátil logo abaixo da tela. Ao analisar o foco visual (Eye Tracking) e as atividades cerebrais (EEG) dos alunos durante o aprendizado, é possível identificar padrões de engajamento e compreensão.

Essa configuração visava facilitar a calibração e a utilização do rastreador, que era realizado por meio de instruções exibidas na tela, combinando imagens, ferramentas interativas e texto. As instruções iniciavam orientando os alunos quanto ao posicionamento correto, utilizando feedback ao vivo, e posteriormente forneciam informações sobre o processo de calibração em si. Além disso, os dados do rastreamento ocular (HU, 2018) foram aproveitados para criar detectores de mente vagando (MW), utilizando uma abordagem de aprendizado supervisionado, que exigia dados rotulados coletados por meio de sondas de pensamento.

Diante disso, durante o aprendizado dos alunos com o GuruTutor (HUTT, 2017), também foram utilizadas sondas de captação sonora para medir a divagação da mente. Este processo está alinhado com o conceito da teoria de que o processo de aprendizagem é mais eficaz, quando os alunos estão ativamente envolvidos na construção do conhecimento. A Teoria da Aprendizagem Significativa (VALADARES e MOREIRA, 2009) enfatiza a importância de relacionar novas informações com o conhecimento prévio dos alunos, tornando-as relevantes e conectadas. Ao usar sondas de captação sonora, os educadores podem avaliar se os alunos estão fazendo conexões significativas entre o que estão aprendendo e o que já sabem, permitindo intervenções direcionadas para promover uma aprendizagem mais profunda.

Além disso, as pesquisas (HUANG, 2016) também propuseram a ideia de provocar emoções positivas nos alunos, utilizando testes nos quais imagens engraçadas eram apresentadas como recompensa por respostas corretas, seja em uma palestra em vídeo ou em uma aula presencial. Os resultados comprovam que recompensar os alunos com estímulos divertidos pode melhorar seu estado afetivo. A combinação de Eye Tracking e EEG também pode oferecer uma visão mais completa da experiência de aprendizado, permitindo



a detecção de momentos de distração, tédio ou intensa concentração, direcionando intervenções para manter o engajamento. No caso das aulas à distância síncronas, o professor tem um indicativo sobre a percepção dos alunos, podendo adaptar imediatamente o discurso da aula. Já em aulas assíncronas, um banco de dados pode ser criado visando o redesenho do material didático utilizado.

Em segundo lugar, as pesquisas que utilizaram Eye Tracking para mapear os índices de concentração e atenção dos alunos (BIXLER e D'MELLO, 2015; D'MELLO, 2016; FABER, BIXLER, D'MELLO, 2017; HUTT, 2023; DONG, 2021; HUTT, 2019; PEI, XU, ZHOU et AL, 2022; HU, 2018) empregaram diversas tecnologias. Os rastreadores oculares Tobii (T60, TX300) foram utilizados para registrar padrões de fixação ocular e o registro do olhar durante a leitura. Além disso, o WebGazer foi utilizado para detectar automaticamente estados cognitivos ocultos durante uma tarefa de compreensão de leitura online, relacionados tanto ao pensamento quanto à compreensão não relacionada à tarefa. A utilização de óculos de eye tracking (ÇEKEN, TAŞKIN, 2022), em ambientes de aprendizagem, mostrou que eles devem ser adequadamente flexíveis, com tecnologias multimídia cuidadosamente escolhidas para aprendizado.

A divagação mental foi medida por meio de sondas auditivas, um método padrão e validado para coletar dados sobre o processo mental em tempo real. O rastreamento ocular foi considerado o método mais adequado para o estudo. Pesquisadores usaram algoritmos de filtragem de fixação para converter a leitura do olhar em uma sequência temporal de fixações, sacadas e buscas suaves, utilizando abordagens como BCI (PEI, XU, ZHOU et AL, 2022), infomax estendido (DHINDSA, 2019), ICA (MATIZ, 2019) e CFS+ KNN (HU, LI, SUN, 2016).

A utilização desses processos computacionais se alinha com o princípio da atenção seletiva, uma parte fundamental da TAS. A teoria enfatiza que a aprendizagem ocorre quando os alunos estão focados em informações relevantes e significativas. Da mesma forma, a análise detalhada das fixações e movimentos oculares ajuda a identificar onde os alunos estão direcionando sua atenção visual durante a interação com o conteúdo. Isso permite que os educadores avaliem quais partes do material estão recebendo mais atenção e adaptem o ensino para enfatizar essas áreas de foco, aumentando a probabilidade de construção de significado e aprendizagem profunda.

Os movimentos oculares podem ser divididos em movimentos globais e locais. Os movimentos globais são independentes de estímulos visuais específicos, como o número de fixações e a duração média das fixações. Por outro lado, os movimentos oculares locais são dependentes do estímulo, como as fixações de primeira passagem - o momento em que uma palavra é fixada pela primeira vez durante a leitura. Podemos considerar os movimentos oculares específicos do conteúdo, como o número de fixações em uma palavra específica do conteúdo, como um subconjunto especial de movimentos locais.

Embora existam outros indicadores (D'MELLO, 2016), como fisiologia e gestos, o rastreamento ocular é considerado o melhor indicador de curto prazo para identificar a direção da atenção visual. Detectar a divagação mental apresenta um desafio, pois é uma forma de "olhar sem ver", onde os olhos podem estar fixados adequadamente no ambiente externo, mas há um processamento limitado, pois a atenção está direcionada internamente.

O rastreamento ocular é atraente para a detecção da divagação mental porque as relações bem estabelecidas entre os movimentos oculares e o estímulo externo tendem a ser interrompidas durante esse estado. Por exemplo, durante a divagação mental, os participantes são menos propensos a realizar fixações, refixações e regressões (ou seja, olhar para trás em um texto lido anteriormente) em comparação com a leitura normal. Além disso, as taxas de piscar também são mais altas durante a divagação mental durante a leitura, possivelmente devido à redução no processamento de informações externas, pois os olhos estão fechados durante as piscadas.

Em terceiro lugar, as pesquisas (DONG, MILLS, CAVALEIRO, et al., 2021; DHINDSA, 2019; XU, SUI, 2021; SNOWDEN, 2021; PI, ZHANG, YU, et al., 2021; PEI, XU, ZHOU, et al., 2022; KAWASHIMA e KUMANO, 2017; JIN, CY, BORST, et al., 2019) que exploraram o uso da Eletroencefalografia (EEG) na *área da educação* empregaram diferentes tecnologias. Foram utilizados o sistema Neuroscan SynAmps2 e o software de gravação Curry 8.0, para coletar os dados EEG. Além disso, foi utilizado um gel condutor para reduzir a impedância em cada eletrodo. Simultaneamente, os dados de movimento ocular foram coletados por meio de um rastreador ocular baseado em vídeo infravermelho, o EyeLink Portable Duo da SR Research.



Durante a etapa de validação, a calibração foi considerada aceita apenas quando o desvio médio do olhar de todos os pontos para um ou ambos os olhos fossem inferiores a 0,5 grau. Caso um dos olhos apresentasse um desvio maior que 0,5 grau, a calibração era refeita. Se o número de repetições excedesse 3, os participantes eram instruídos a fazer uma pequena pausa e realizar novamente a calibração.

Utilizando métodos de aprendizado de máquina (DHINDSA, 2019; KAWASHIMA e KUMANO, 2017; JIN, CY, BORST, et al., 2019) com medidas de EEG para prever divagações mentais, observou-se um maior sucesso com o modelo de Máquina de Vetores de Suporte (SVM) em comparação com o modelo de regressão logística na classificação dos estados de divagação mental tanto dentro quanto entre os sujeitos. Essa descoberta é consistente com estudos anteriores que demonstram a eficácia de modelos não lineares na determinação dos limites entre os estados de atenção.

Houve também a detecção de divagações mentais em ambientes do mundo real, onde os registros das atividades de EEG durante *palestras ao vivo* foram analisados e as medições de potência nas bandas de frequência teta, alfa e beta alcançaram uma precisão média de detecção de 80% a 83%. Os resultados do EEG (PI, ZHANG, YU, et al., 2021) revelaram que os alunos que demonstraram satisfação (LIU, YU, LIU, et al., 2022; PI, ZHANG, ZHOU, et al., 2020) apresentaram um maior poder nas frequências alfa e beta quando submetidos a testes nos quais o instrutor em vídeo utilizava gestos de apontar. Esses resultados sugerem um menor envolvimento sensório-motor no processamento dessas informações.

A partir desses estudos, é possível concluir que, ao empregar o EEG e o Eye Tracking em conjunto, os educadores podem ajustar estratégias pedagógicas e materiais de ensino de acordo com os padrões identificados. Apesar de serem tecnologias ainda incipientes na área da educação, seu uso é amplamente difundido em outros campos. O EEG ainda é demanda um hardware específico, como um headset ou um fone de ouvido com sensores para leitura de ondas neurais. Já o eye tracking é mais simples, podendo ser baseado na webcam dos computadores. Dessa forma, o uso do eye tracking pode ser incorporado aos sistemas de ensino à distância, que além de apresentar os conteúdos, podem, simultaneamente, mapear o olhar dos alunos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É notável a produção de trabalhos tendo como foco o EEG e o Eye Tracking, sendo que as produções estão predominantemente na área de Ciência da Computação. É natural que no meio de estudiosos da computação, considerando a dificuldade que grande parte dos educadores têm com o domínio da linguagem de programação, os estudos sejam mais constantes e avancem.

Há uma preocupação com a questão da divagação da mente, ou a distração, o que pode sugerir um investimento maior nos próximos anos, por parte de governantes, com o foco em políticas públicas de avaliação efetiva da educação, contemplando a Aprendizagem Significativa como campo de pesquisa e suas relações com o uso destas tecnologias.

As tecnologias utilizadas para o mapeamento do olhar e das divagações da mente são avançadas e a cada dia oferecem maiores e melhores resultados, no entanto, ainda são de alto custo, o que inviabilizaria um investimento massivo por parte de governos, considerando, inclusive, os custos de capacitação de professores e técnicos de fora das fronteiras formativas das Ciências de Computação.

O cenário prospectivo é favorável ao encontro das áreas de conhecimento numa perspectiva de cooperação técnica, favorecendo ações interdisciplinares e multirregionais, priorizando-se a popularização de conceitos fundamentais das aplicações. Da mesma forma que a inteligência artificial está se popularizando e tornando-se comum no dia a dia de estudantes e professores, a aprendizagem de máquina, o mapeamento do olhar e o uso do eletroencefalograma para realizá-lo, também deverá ser comum aos protagonistas dos processos de ensino e aprendizagem.

A partir desses estudos, há um indicativo de que, ao empregar o EEG e o eye tracking em conjunto, os educadores podem ajustar estratégias pedagógicas e materiais de ensino de acordo com os padrões identificados. Os resultados sugerem a possibilidade da obtenção de dados úteis, tanto para a condução das aulas síncronas, quanto para o preparo dos materiais didáticos. Por exemplo, se o eye tracking revelar que os alunos tendem a fixar o olhar em certas partes de um texto ou imagem, enquanto o EEG indica altos níveis de



atividade cerebral associados a atenção, os educadores podem enfatizar essas seções durante a explanação ou discussão em sala de aula.

Por outro lado, falta de atenção e divagação indicam estratégias pedagógicas problemáticas. Se os sinais do EEG e os padrões de eye tracking indicarem momentos de distrações ou desinteresse, intervenções podem ser introduzidas para engajar os alunos, como pausas para discussões ou atividades interativas. Essa abordagem orientada por dados, ajuda a criar uma aprendizagem mais significativa, onde o conteúdo é adaptado às necessidades e preferências individuais dos alunos, promovendo uma absorção mais profunda e duradoura do conhecimento.

A utilização desses processos computacionais se alinha com o princípio da atenção seletiva, uma parte fundamental da TAS. A teoria enfatiza que a aprendizagem ocorre quando os alunos estão focados em informações relevantes e significativas. Da mesma forma, a análise detalhada das fixações e movimentos oculares ajuda a identificar onde os alunos estão direcionando sua atenção visual durante a interação com o conteúdo. Isso permite que os educadores avaliem quais partes do material estão recebendo mais atenção e adaptem o ensino para enfatizar essas áreas de foco, aumentando a probabilidade de construção de significado e aprendizagem profunda. Dessa forma, desenvolve-se uma maior conexão com conhecimentos prévios, o que, por sua vez, auxilia no desenvolvimento de bases sólidas do saber, criando conexões mais profundas. Segundo a TAS, a ativação do processo cognitivo dos alunos envolve reflexão, análise e pensamento crítico. A presença desses elementos pode ser identificada pelas ondas alpha e high beta, permitindo uma inferência sobre o engajamento do aluno com o conteúdo ministrado.

Concluimos registrando que trabalhos futuros poderão levantar e avaliar tecnologias de maior flexibilidade e menor complexidade disponíveis no mercado, abrindo as portas, inclusive, para a popularização da ciência e tecnologia oriundas do EEG e o Eye Tracking e seus usos na educação. Testes laboratoriais coletando dados sobre atenção, interesse, motivação e engajamento compõem um passo importante na integração do EEG e do eye tracking no cotidiano educacional, visando uma análise aprofundada do potencial tecnológico e da contribuição para os processos definidos pela TAS.

REFERÊNCIAS

- SINEGLAZOV, V.; SAVENKO, I. Comparative Analysis of Text Vectorization Methods. **Electronics and Control Systems**, v. 2, n. 76, p. 21-27, 2023.
- MURPHY, K. P. **Machine Learning: A Probabilistic Perspective**. [s.l.] MIT Press, 2012.
- ROBERT, C. Machine Learning, a Probabilistic Perspective. **CHANCE**, v. 27, n. 2, p. 62-63, 3 abr. 2014.
- JAMES, G. et al. **An Introduction to Statistical Learning**. New York, NY: Springer US, 2021.
- HARRINGTON, P. **Machine Learning in Action**. [s.l.] Simon and Schuster, 2012.
- CORMEN, T. H. et al. **Introduction to Algorithms, fourth edition**. [s.l.] MIT Press, 2022.
- KNUTH, D. E. **The Art of Computer Programming, Volume 1, Fascicle 1: MMIX -- A RISC Computer for the New Millennium**. [s.l.] Addison-Wesley Professional, 2005.
- ATIQU, Z.; LOUI, M. C. A Qualitative Study of Emotions Experienced by First-Year Engineering Students during Programming Tasks. **ACM Transactions on Computing Education**, 9 mar. 2022.
- CHEN, C.-M.; WANG, J.-Y.; YU, C.-M. Assessing the attention levels of students by using a novel attention aware system based on brainwave signals. **British Journal of Educational Technology**, v. 48, n. 2, p. 348-369, 13 nov. 2015.
- CRICK, T. et al. The Impact of COVID-19 and “Emergency Remote Teaching” on the UK Computer Science Education Community. **United Kingdom & Ireland Computing Education Research conference**, 25 ago. 2020.
- ISABEL, A.; ROMERO, M. Analysis of team-based cognitive-affective states in STEAM education. **Creativity and Cognition**, 20 jun. 2022.
- CHEN, P. et al. LANTERN: Boredom-conscious Natural Language Description Generation of Query Execution Plans for Database Education. **Proceedings of the 2022 International Conference on Management of Data**, 10 jun. 2022.
- BIXLER, R.; D’MELLO, S. Automatic gaze-based user-independent detection of mind wandering during computerized reading. **User Modeling and User-Adapted Interaction**, v. 26, n. 1, p. 33-68, 27 set. 2015.
- D’MELLO, S. K. Giving Eyesight to the Blind: Towards Attention-Aware AIED. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 26, n. 2, p. 645-659, 16 fev. 2016.



- FABER, M.; BIXLER, R.; D'MELLO, S. K. An automated behavioral measure of mind wandering during computerized reading. **Behavior Research Methods**, v. 50, n. 1, p. 134-150, 8 fev. 2017.
- HUTT, S. et al. Webcam-based eye tracking to detect mind wandering and comprehension errors. **Behavior Research Methods**, 10 jan. 2023.
- DONG, H. W. et al. Detection of mind wandering using EEG: Within and across individuals. **PLOS ONE**, v. 16, n. 5, p. e0251490, 12 maio 2021.
- DHINDSA, K. et al. Individualized pattern recognition for detecting mind wandering from EEG during live lectures. **PLOS ONE**, v. 14, n. 9, p. e0222276, 12 set. 2019.
- HUTT, S. et al. "Out of the Fr-Eye-ing Pan". **Proceedings of the 25th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization**, 9 jul. 2017.
- XU, X.; SUI, L. EEG Cortical Activities and Networks Altered by Watching 2D/3D Virtual Reality Videos. **Journal of Psychophysiology**, p. 1-9, 18 mar. 2021.
- SNOWDEN, A. W. et al. Neural efficiency and spatial task difficulty: A road forward to mapping students' neural engagement in spatial cognition. **Engineering design graphics journal**, v. 85, 1 jan. 2021.
- HUTT, S. et al. Automated gaze-based mind wandering detection during computerized learning in classrooms. **User Modeling and User-Adapted Interaction**, v. 29, n. 4, p. 821-867, 1 jun. 2019.
- TRI SAPTUTI SUSIANI et al. STEAM in Art Education Course. **Proceedings of the 4th International Conference on Learning Innovation and Quality Education**, 5 set. 2020.
- LIU, Z. et al. How do students' self-regulation skills affect learning satisfaction and continuous intention within desktop-based virtual reality? A structural equation modelling approach. **British Journal of Educational Technology**, 13 set. 2022.
- PI, Z. et al. Learning by explaining to oneself and a peer enhances learners' theta and alpha oscillations while watching video lectures. **British Journal of Educational Technology**, v. 52, n. 2, p. 659-679, 19 nov. 2020.
- HUANG, Y.-M. et al. Using humorous images to lighten the learning experience through questioning in class. **British Journal of Educational Technology**, v. 48, n. 3, p. 878-896, 6 maio 2016.
- PI, Z. et al. Neural oscillations and learning performance vary with an instructor's gestures and visual materials in video lectures. **British Journal of Educational Technology**, v. 53, n. 1, p. 93-113, 25 ago. 2021.
- PEI, X., XU, G., ZHOU, Y., TAO, L., CUI, X., WANG, Z., ... & YU, Y. Um conjunto de dados simultâneos de eletroencefalografia e rastreamento ocular em atletas de elite durante tarefas de alerta e concentração. **Dados Científicos**, 9 (1), 465. 2 ago. 2022.
- KAWASHIMA I. & KUMANO H. Previsão de divagação com eletroencefalograma e modelagem de regressão não linear. **Frontiers in Human Neuroscience**, 11, 365. 2017
- JIN, CY, BORST, JP E VAN VUGT, MK. Prevendo a divagação geral da tarefa com EEG. **Neurociência cognitiva, afetiva e comportamental**, 19, 1059-1073. 2019
- MATIZ, A. et al. Spontaneous eye movements during focused-attention mindfulness meditation. **PLOS ONE**, v. 14, n. 1, p. e0210862, 24 jan. 2019.
- HU, B. et al. Attention Recognition in EEG-Based Affective Learning Research Using CFS+KNN Algorithm. **IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics**, v. 15, n. 1, p. 38-45, 1 jan. 2018.
- HU, B. et al. Attention Recognition in EEG-Based Affective Learning Research Using CFS+KNN Algorithm. **IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics**, v. 15, n. 1, p. 38-45, 1 jan. 2018.
- ÇEKEN, B.; TAŞKIN, N. Multimedia learning principles in different learning environments: a systematic review. **Smart Learning Environments**, v. 9, n. 1, 13 abr. 2022.
- VALADARES, J. A.; MOREIRA, M. A. **A Teoria da Aprendizagem Significativa: sua Fundamentação e Implementação**. 1a edição ed. [s.l.] Almedina, 2009.
- MOREIRA, M. A. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.
- BLASCHECK, et. al. State-of-the-Art of Visualization for Eye Tracking Data, **Eurographics Conference on Visualization** (EuroVis), 2014.
- FARNSWORTH, Bryn. 10 Most Used Eye Tracking Metrics and Terms, iMotions, 2020.
- BERRIDGE, K.; WINKIELMAN, P. What is an unconscious emotion? (The case for unconscious "liking"). **Cognition and emotion**, 2003, 17(2), 181-211.
- Maarten A.S. Boksem, Ale Smidts. Brain Responses to Movie Trailers Predict Individual Preferences for Movies and Their Population-Wide Commercial Success. December 2014 **Journal of Marketing Research** 52(4):150619071651008.



Vecchiato, G., Toppi, J., Astolfi, L., De Vico Fallani, F., Cincotti, F., Mattia, D., et al. (2011). Spectral EEG frontal asymmetries correlate with the experienced pleasantness of TV commercial advertisements. **Med. Biol. Eng. Comput.** **49**, 579-583.

LEE, Y.Y.; HSIEH, S. Classifying different emotional states by means of eeg based functional connectivity patterns. **PLoS ONE** 2014, 9, e95415.

BECKER, V.; MACÊDO, J. M. A. **Handbook de pesquisas em interação e mídia**. [s.l.] Editora UFPB, 2023.

CAVALCANTI, M.;CAVALCANTI,D.;BECKER,V. et al. Incorporating Eye Tracking into an EEG-Based Brainwave Visualization System. **Lecture Notes in Computer Science**, p. 392-403, 1 jan. 2023.

CAVALCANTI, DANIEL; BECKER, V., et al. Research on Brain-Computer Interfaces in the Entertainment Field. **Lecture Notes in Computer Science**, p. 404-415, 1 jan. 2023.

DIAS DA SILVA, M. R. e POSTMA, M. **Wandering minds, wandering mice: Computer mouse tracking as a method to detect mind wandering**. Computers in Human Behavior, v. 112, 2020.

REBECCHI, Kevin e HAGÈGE, Hélène. **Educating Through Attentional States of Consciousness, an Effective Way to Develop Creative Potential?** Frontiers in Education. [S.l: s.n.], 2022

SZPUNAR, Karl K. e MOULTON, Samuel T. e SCHACTER, Daniel L. **Mind wandering and education: From the classroom to online learning**. Frontiers in Psychology. [S.l: s.n.], 2013

WONG, Joseph T. e colab. **Zooming in or zoning out: examining undergraduate learning experiences with zoom and the role of mind-wandering**. Computers and Education Open, v. 4, 2023.

ACM Digital Library, 2023. Disponível em: <<https://dl.acm.org/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2023.

Springer Link, 2023. Disponível em: <<https://link.springer.com/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2023.

IEEE Xplore, 2023. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>>. Acesso em: 25 de setembro de 2023.