

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA VISUALIZAÇÃO GRÁFICA DE ONDAS NEURAS DURANTE CONSUMO DE CONTEÚDOS MUDIÁTICOS

Thiago Henrique Coelho Tavares DA SILVA, (UFPB)¹

Matheus Dantas CAVALCANTI, (UFPB)²

Valdecir BECKER, (UFPB)³

Resumo: Esse trabalho tem como objetivo relatar o desenvolvimento de um software para a captação, análise e visualização gráfica de ondas neurais a partir da leitura via touca eletroencefalográfica, durante o consumo de conteúdos midiáticos. Dentro do escopo do método do Design Science Research, as ondas neurais produzidas naturalmente pelo cérebro são mapeadas, categorizadas e dispostas graficamente para o usuário, assim como podem servir de insumo para diversos outros sistemas. Sendo a percepção e experiência da fruição midiática variável e subjetiva entre indivíduos, esta pesquisa contribui para a obtenção de dados relevantes no contexto do estudo de interações multimídia.

Palavras-chave: Fruição audiovisual; Interfaces cérebro máquina; Design Science Research.

Abstract/Resumen: This article reports the development of a software for capturing, analyzing and graphically visualizing brainwaves from electroencephalographic reading, during the consumption of media content. Within the scope of the Design Science Research method, brainwaves naturally produced will be mapped, categorized, stored and graphically printed. The interface is used as input for fruition analysis in various systems, such as evaluation of movies and series, art pieces evaluation and neural marketing. As the perception and experience of media fruition is variable and subjective among individuals, this research contributes to obtaining relevant data in the context of multimedia interactions study and development.

Keywords/Palabras clave: Audiovisual fruition; Brain computer interfaces; Design Science Research.

INTRODUÇÃO

Interfaces Cérebro Máquina (ICM) consistem em uma ligação direta entre cérebro e computador ou dispositivo externo, sem que existam estímulos musculares (SILVERSMITH, Daniel B. et al., 2021). Segundo a Comissão Européia de Coordenação de Pesquisas em ICM, seis principais eixos temáticos para aplicações mostram-se factíveis e promissores (Brunner et al., 2015). Entre eles, ressalta-se o uso de ICM como ferramenta de pesquisa e desenvolvimento, por meio da obtenção de feedback implícito em tempo real.

¹ Aluno do curso de Ciência da Computação na Universidade Federal da Paraíba.

² Aluno do curso de Ciência da Computação na Universidade Federal da Paraíba.

³ Professor do Programa de Pós-Graduação em Comunicação (PPGC) da Universidade Federal da Paraíba.

Na área da Interação Humano Computador, o Eletroencefalograma (EEG) foi incorporado como uma ICM de modo a fornecer dados de entrada para sistemas computacionais. De forma não-invasiva, sem a necessidade de inserção de eletrodos no interior do crânio, mede as flutuações de tensão resultante da corrente iônica dentro dos neurônios do cérebro. Desse modo, obtém informações de ondas neurais espontaneamente geradas e possibilita sua transformação em dados manipuláveis.

Este artigo descreve a construção de uma ferramenta de visualização gráfica para a interpretação de ondas neurais em tempo real com ênfase na observação do consumo de conteúdos midiáticos, através da metodologia Design Science Research. Devido à complexa natureza de interdependência entre as ondas e sua emissão simultânea em diferentes pontos do cérebro, foi utilizada a leitora eletroencefalográfica Emotiv Insight para a obtenção e tratamento dos dados. Além disso, o dispositivo tem a capacidade de apresentar leitura de sinais vindos de todos os lobos corticais do cérebro humano.

O uso de EEG em interações Cérebro Computador mostra-se promissor no campo da produção e consumo audiovisual, uma vez que o feedback acerca de uma obra pode ser coletado de maneira pervasiva e imediata, isto é, sem que haja o exercício da subjetividade do usuário espectador no processo de avaliação. Podem ser citados como exemplos práticos do uso dos dados obtidos a melhoria na acurácia de sistemas recomendadores de conteúdos ou a criação de um sistema capaz de validar avaliações de obras de arte.

LEITURA DE ELETROENCEFALOGRAFIA

O headset Emotiv Insight é destinado ao uso em pesquisas científicas e aplicações de uso pessoal, não sendo apropriado para o diagnóstico e tratamento de condições médicas. Faz o uso de cinco canais de eletroencefalografia, sendo o único dispositivo em seu nicho de mercado a apresentar leitura de sinais vindos de todos os lobos corticais do cérebro humano. Ao total, é capaz de fornecer dados de EEG sem processamento, comandos mentais, métricas de performance sobre os sinais eletroencefalográficos e detecção de expressões faciais por meio dos sensores de nove eixos contidos no aparelho.

Figura 1 - Headset Emotiv Insight



Fonte: <https://bit.ly/3zGjyju>

Sua bateria recarregável e conectividade bluetooth tornam possível a utilização da touca tanto em aplicativos em ambientes desktop quanto mobile. A grande facilidade no processo de montagem e conexão do aparelho permite que interações sejam iniciadas em cerca de cinco minutos.

CLASSIFICAÇÃO DE ONDAS CEREBRAIS

Os seres humanos emitem simultaneamente cinco diferentes tipos de padrões elétricos no córtex cerebral, denominadas Alfa, Beta, Theta, Delta e Gama. Cada uma das ondas tem um propósito específico e sua harmonia contribui para um funcionamento mental saudável. Dessa forma, usando aferição via EEG, pode ser destacado o impacto de uma interação por meio da detecção de alteração nos padrões cerebrais de um indivíduo. As ondas podem ser classificadas de acordo com a frequência do espectro neural (DEMOS, 2005; MONORI e ONIGA, 2018).

Figura 2 - Frequências Cerebrais

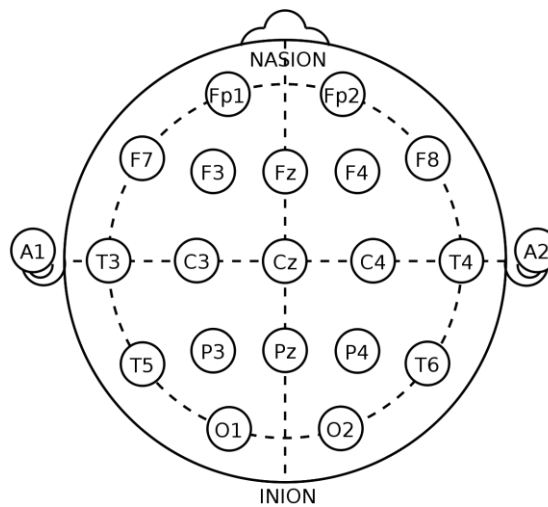
Frequências Cerebrais

Delta (0-4 Hz)	<ul style="list-style-type: none">• Profundos níveis de relaxamento.• Funções regulatórias (Ex: batimentos cardíacos).
Theta (4-8 Hz)	<ul style="list-style-type: none">• Percepção de emoções.• Criatividade e "intuição".
Alpha (8-12 Hz)	<ul style="list-style-type: none">• Ponte entre consciente e subconsciente.• Relaxamento e meditação leve.
Beta (12-40 Hz)	<ul style="list-style-type: none">• Pensamento crítico, consciente e lógico.• Cognição, concentração.
Gamma (40-100 Hz)	<ul style="list-style-type: none">• Funcionamento cognitivo, aprendizado.• Sentidos e percepção.

Fonte: Própria

Respeitando o sistema internacional 10-20 de leitura encefalográfica, referente à disposição dos eletrodos na superfície de contato, o headset Emotiv Insight conta com feedback neural completo nas posições F3, F4, PZ, T7 e T8, localizados respectivamente nos lobos frontal esquerdo e direito, lobo parietal e lobos temporais esquerdo e direito. Também conta com dois sensores de referência, localizados na região do mastóide esquerdo.

Figura 3 - Sistema 10-20 de leitura eletroencefalográfica



Fonte: <https://bit.ly/3GeB5BT>

Leituras ocorrem por meio de eletrodos feitos com um polímero proprietário do fabricante, oferecendo boa condutividade com mínima necessidade de montagem. A natureza hidrofílica do material elimina a necessidade de preparação extensiva ou géis para a melhoria do contato, normalmente presente em outros dispositivos de leitura de patamar semelhante.

O MÉTODO DESIGN SCIENCE RESEARCH

Esta pesquisa é baseada na Design Science Research (DSR), processo metodológico que legitima o desenvolvimento de artefatos orientados à resolução de problemas como uma maneira importante de produzir conhecimento científico e tecnológico (DRESCH, et al., 2015; JÄRVINEN, 2007; HEVNER et al., 2004). Os estágios do ciclo consistem na identificação e definição de classes de problemas, no desenvolvimento de artefatos para transformar situações e na alteração de suas condições iniciais para condições satisfatórias ou desejáveis. Também considera a avaliação dos artefatos e a divulgação das lições aprendidas (ou resultados da pesquisa, no caso do processo científico).

A DSR foi considerada relevante para este estudo após a identificação de lacunas na produção técnica e científica no campo dos sistemas audiovisuais. Verificou-se que, nos últimos anos, não há menção, nem na IHC, nem nos estudos de mídia, à criação de modelos, métodos ou estruturas capazes de apoiar a recomendação de conteúdos de sistemas audiovisuais baseados em EEG (TOSCANO et al., 2019).

Pela estrutura do método da DSR, o processo começa com um modelo mental de uma solução possível. DSR não busca soluções ideais, mas artefatos possíveis e que gerem uma solução viável (TOSCANO et al., 2019). Modelos mentais podem ser descritos como uma realidade em pequena escala, construída a partir da percepção, imaginação ou compreensão do discurso. São semelhantes aos modelos arquitetônicos ou diagramas da física, pois sua estrutura é análoga à estrutura da situação que eles representam (JOHNSON-LAIRD e BYRNE, 2000). Já um modelo de processo deve nos fornecer algumas orientações, como revisores, editores e consumidores, sobre o que esperar dos resultados da pesquisa da DSR.

Seguindo March e Smith (1995), Hevner e Mills (1995), além de Archer (1984) e DMReview (2007), podemos elencar seis atividades que foram seguidas por esta pesquisa:

Atividade 1: Identificação e motivação de problemas. Esta etapa visa definir o problema de pesquisa e justificar o valor de uma solução. A definição do problema é o ponto de partida para o desenvolvimento do artefato, que vai gerar uma solução. Para isso, é necessário reduzir conceitualmente o problema a uma descrição simples e objetiva. Além disso, é importante explicar o valor de uma solução, em termos de qualidade ou de utilidade, motivando o pesquisador a buscar uma solução e os indivíduos a aceitarem os resultados, ao passo que ajuda a entender o raciocínio utilizado para analisar e resolver o problema.

Atividade 2: Definição dos objetivos de uma solução. Nesta etapa são inferidos os objetivos de uma solução, considerando a definição do problema (Atividade 1) e analisando o que é possível e viável dentro do escopo da pesquisa. Os objetivos podem ser quantitativos, tais como dados, números ou estatísticas de quanto uma solução desejável seria melhor que a atual, ou qualitativos, ao descrever como um novo artefato deve solucionar problemas até agora não abordados. Os objetivos devem ser inferidos racionalmente a partir da especificação do problema, podendo ser simplesmente descritos em forma de lista, modelados, especificados.

Atividade 3: Design e desenvolvimento. É nesta etapa em que o artefato é criado. Um artefato pode ser qualquer objeto projetado para incorporar ao design uma contribuição de pesquisa, como um software acoplado a um hardware específico, caso

deste artigo. A atividade de design e desenvolvimento inclui determinar como o artefato deve funcionar, sua arquitetura e a criação do artefato real.

Atividade 4: Demonstração. Nesta etapa o pesquisador apresenta o artefato criado e mostra como ele resolve o problema, ou parte dele. Esta atividade pode ser presencial, seja em campo ou laboratório, ou remota, via internet, envolvendo experimentação, simulação, estudo de caso, prova, teste de usabilidade, ou outra técnica apropriada.

Atividade 5: Avaliação. Nesta atividade o pesquisador observa o uso do artefato e avalia o quão bem ele soluciona o problema. É feita uma comparação entre os objetivos (Atividade 2) e os resultados observados durante o uso do artefato na demonstração, sendo necessárias métricas e técnicas de análise. Dado a busca de uma solução, que pode não necessariamente ser a melhor, a avaliação na DSR pode incluir qualquer evidência empírica considerada apropriada ou prova lógica de que os objetivos são atingidos. Finalizada, os resultados são analisados e decide-se por voltar ou não à Atividade 3 em busca de melhoria do artefato. Caso contrário, melhorias podem ser apontadas como trabalhos futuros ou projetos subsequentes na etapa de comunicação. A natureza temporal e espacial do local da pesquisa, assim como orçamento e equipe, pode determinar se essa iteração é viável ou não.

Atividade 6: Comunicação. Etapa que fecha o ciclo da DSR, deve divulgar o problema, com contexto e relevância, o artefato criado, sua utilidade, qualidade, e novidade, o rigor do design e sua eficácia a profissionais impactados, pesquisadores, cientistas e outras audiências relevantes. Nas publicações de pesquisas acadêmicas, os pesquisadores podem usar a estrutura desse processo para estruturar o artigo, assim como a estrutura nominal de um processo de pesquisa empírica (definição de problemas, revisão de literatura, desenvolvimento de hipóteses, coleta de dados, análise, resultados, discussão e conclusão), considerando uma estrutura comum de trabalhos acadêmicos.

DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS E DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

Considerando que o problema central da pesquisa reside na visualização e interpretação da reação natural do cérebro à estímulos midiáticos, por meio do uso do EEG, é possível traçar uma série de objetivos para guiar o desenvolvimento do artefato em questão.

O primeiro deles é conseguir captar as ondas neurais de um indivíduo, filtrando os dados que são relevantes para uma futura análise, e os dispor em um banco de dados que será usado para alimentar a aplicação. Um dos objetivos mais importantes pode ser associado à necessidade de visualização gráfica das ondas cerebrais, de modo que seja possível fazer análises sobre os dados obtidos do usuário com base no tempo, para entender os efeitos de cada etapa de uma fruição de forma clara e precisa.

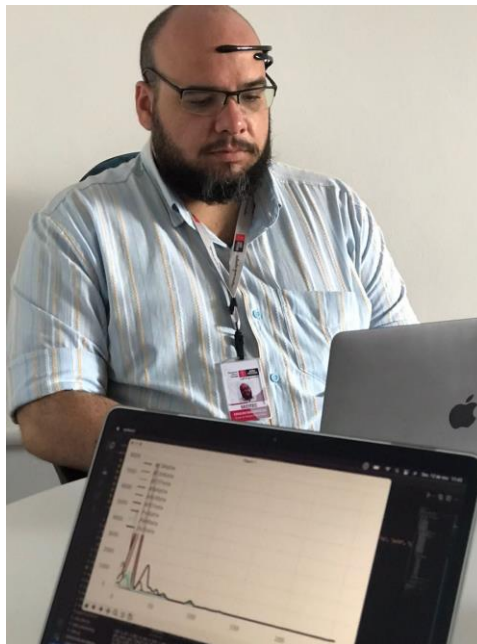
Para isso, foi utilizado a linguagem de programação Python para construir um gráfico com os dados obtidos pelo headset Emotiv Insight, que é atualizado em tempo real, durante a fruição do usuário. Após uma sessão completa é possível ter acesso ao gráfico final para análise dos resultados e comparação com os resultados de outros indivíduos.

DEMONSTRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO ARTEFATO

Aplicação para a leitura de ondas neurais

É denominada "Cortex API" a interface de programação de software que torna possível a interpretação dos sinais eletroencefalográficos obtidos por meio dos produtos da marca Emotiv. Por meio de seu uso, juntamente ao aplicativo Emotiv Launcher, foi desenvolvido um software em linguagem Python, que coleta os dados lidos pelo Emotiv Insight em tempo real. Os dados são tratados pela API, filtrados pela aplicação e em seguida enviados a um banco de dados. Dessa forma, é possível obter, classificar e analisar as ondas cerebrais de indivíduos enquanto consomem algum conteúdo midiático.

Figura 4 - Aplicação em funcionamento



Fonte: Própria

Em seu funcionamento, um primeiro conteúdo é exposto ao usuário equipado da leitora de sinais EEG. São cadastrados, por meio da aplicação em Python, os estados das ondas Alpha, Beta e Theta, tomando em consideração os eletrodos posicionados em AF3, AF4 e T7 durante todo o período da interação. Através da quantificação das forças de atuação das ondas neurais nesses pontos, é possível observar feedback neural relativo a atenção, relaxamento, sincronismo emocional e foco do usuário.

Testes em laboratório

Participaram dos experimentos quinze pessoas do sexo masculino, com idades entre 18 e 55 anos. Eliminando o tempo de disposição dos eletrodos da leitora Emotiv Insight no couro cabeludo dos participantes e otimização da obtenção de sinal por meio do assistente de posicionamento fornecido pelo fabricante, cada interação teve duração de cerca de quatro minutos. Durante esse tempo, imagens foram automaticamente disponibilizadas para visualização e julgamento pelos participantes pelo período de aproximadamente quatro segundos cada.

O primeiro dia de testes em laboratório buscou uma mais ampla compreensão acerca dos estados mentais de interesse, atenção, desgosto e repulsa. Foi apresentado um novo conjunto de imagens, composto tanto por fotos de comidas apetitosas quanto por representações caracterizadas por seres ou objetos culturalmente considerados repulsivos em situações relacionadas à alimentação. Usuários foram instruídos, antes da fruição das

imagens, a avaliar seu estado de fome e pensar em seu prato favorito, de modo a incitar o interesse no que seria apresentado em seguida.

Para o segundo dia de testes, perpetuando o foco na observação em estados de interesse, foi preparada uma nova apresentação composta por produtos que, baseado no perfil sociocultural do grupo, poderiam ser de desejo dos participantes. Junto às imagens, criando um formato de anúncio, foram anexados preços que nem sempre representavam o valor real do produto.

Durante os experimentos, as cinco ondas neurais dos usuários foram observadas em tempo real e guardadas no banco de dados, possibilitando a investigação e comparação em momentos posteriores. Em formato de gráficos em tempo real, foram exibidas as ondas Alfa, Beta e Theta, nos sensores de posição F3, F4 e T7, localizados de forma a executar leituras no lobo frontal.

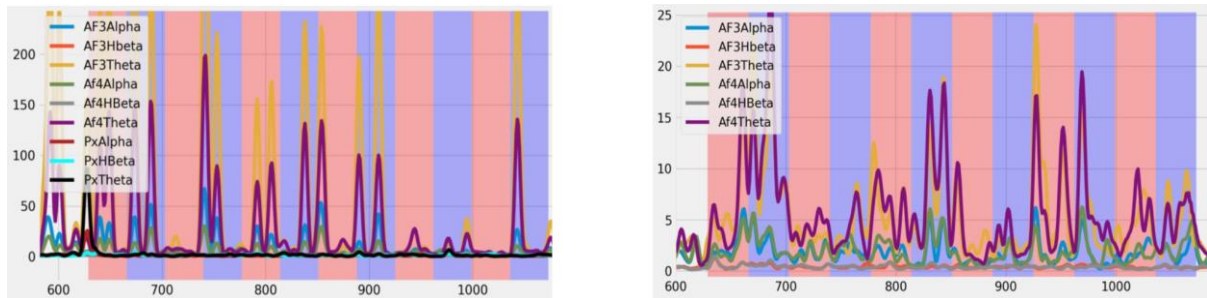
Paralelamente, testes foram feitos durante a fruição de vídeos com lances de jogos de futebol. Foram analisados vídeos de momentos cruciais na derrota do time para qual o usuário torce, bem como lances da derrota que rebaixou o time rival ao mesmo. Puderam ser observados picos de atenção durante a antecipação dos momentos de clímax dos lances, sendo o maior deles na comemoração do gol contra o time rival.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Durante a etapa de testes em laboratório, quinze pessoas foram expostas a apresentações automáticas e suas respostas neurais foram visualizadas em tempo real, além de cadastradas em um banco de dados para comparações e consultas futuras.

Embora as imagens apresentadas a todos os participantes fossem as mesmas, existe discrepância entre os gráficos de respostas neurais cadastrados. Durante a etapa seguinte, de aplicação de questionários acerca da interação, também foi possível notar diferenças na percepção dos espectadores acerca de um mesmo tema.

Figura 5 - Comparação entre leituras eletroencefalográficas



Fonte: Própria

Os resultados podem ser justificados pela diferença no foco do espectador, resultante de sua individualidade durante a fruição de um conteúdo midiático. De acordo com os relatos dos participantes, enquanto alguns usuários buscavam ligações entre elementos específicos em cada imagem, outros tentavam correlacionar o conteúdo na tela com experiências pessoais passadas.

Houve dificuldade na identificação de padrões inclusive na comparação de ondas para um mesmo teste aplicado consecutivamente com um mesmo espectador, uma vez que a forma como interage com uma imagem sempre será única. Mesmo que já a tenha visto antes, inconscientemente busca novas formas de interpretação.

DISCUSSÃO SOBRE AS LIÇÕES APRENDIDAS

Mediante os resultados obtidos durante a etapa de testes com usuários, é possível afirmar que existe viabilidade na combinação entre o funcionamento de um dispositivo de EEG e a capacidade de concatenação e disponibilização de dados de uma aplicação de computador como ICM, voltada para a compreensão da fruição no consumo de conteúdos audiovisuais.

A sobreposição temporal dos resultados do monitoramento de ondas neurais com o conteúdo consumido torna possível a percepção de alterações no comportamento do usuário motivadas pelo que é visto em tela. Tais aspectos da fruição midiática poderiam ser ignorados, omitidos ou até mesmo desconhecidos pelo próprio usuário enquanto avaliador de uma obra. Considerar tais aspectos, subjetivos e relativos à individualidade de cada ser, contribui para a experiência de personalização do consumo de conteúdo, atribuída à profundidade da análise do comportamento do usuário durante a interação.

A partir do sistema proposto, existe a possibilidade de acoplamento de outros serviços que utilizem as informações coletadas e interpretadas em tempo real, ao exemplo de recomendações personalizadas de conteúdo. Nuances como a atenção e dessincronização do foco de um espectador em relação à exibição de um filme podem ser monitoradas e transformadas em heurísticas, habilitando a formação de um catálogo de outros conteúdos que atingissem um patamar mínimo de correlação.

CONCLUSÃO

Este artigo descreveu o uso de uma ICM, baseada em EEG, para leitura, tratamento, armazenamento e recuperação de dados sobre o comportamento das ondas neurais de um usuário durante a fruição audiovisual, com o intuito de obter informações acuradas sobre a interação.

Para realização da pesquisa foi utilizado um dispositivo de EEG disponível no mercado, que serviu como meio para obter os dados referentes às ondas cerebrais. Foram feitos testes com usuários, utilizando o dispositivo, para aferir a possibilidade de extrair informações relevantes para o desenvolvimento de um sistema de recomendação baseado em uma ICM. Os resultados foram dispostos graficamente, por meio de uma aplicação desenvolvida em Python, e se mostraram satisfatórios para os objetivos deste artigo.

É preciso ressaltar limitações nos testes com usuários, que se restringiram a quinze indivíduos. Trata-se de um número insuficiente para gerar conclusões mais precisas sobre a eficiência e a eficácia do sistema, indicando apenas um potencial uso do software.

Os próximos passos para a evolução da pesquisa serão definir um padrão de heurísticas contemplando o envolvimento emocional, ou o quanto o indivíduo gostou ou não das obras (e de trechos delas) por meio da análise das ondas neurais. Além disso, é preciso consolidar o sistema utilizado para análise gráfica das ondas lidas, uma vez que os testes foram realizados com número reduzido de participantes. O acoplamento de tecnologias acessórias, como o monitoramento ocular do usuário em relação à tela ou a captura de expressões faciais durante a fruição midiática, se mostram promissores no aumento da acurácia na representação do estado emocional do usuário durante o momento de interação.

Finalmente, é preciso destacar alguns elementos éticos sobre a presente pesquisa. No contexto de ICMS, como descrito por Zeng et al. (2021), faz-se necessário o uso responsável de tecnologias que visam obter acesso aos dados referentes ao funcionamento e dinâmica cerebral de um indivíduo, visto sua natureza sensível à privacidade do usuário. "Os sistemas tecnológicos precisam se comportar de modo que sejam benéficos para as pessoas, além de simplesmente alcançar objetivos funcionais ou resolver problemas técnicos" (Stephanidis et al., 2019). Para isto, é importante enfatizar que cuidados relacionados à proteção destes dados foram e deverão ser tomados em pesquisas com o uso desta tecnologia. Da mesma forma, elementos éticos e legais, como a Lei Geral de Proteção dos Dados, são pré requisitos, tanto para a pesquisa, quanto para a divulgação dos resultados. Em função disso, os desafios sobre ética, privacidade e segurança, descritos por Stephanidis et al. (2019), estão presentes na pesquisa, especialmente para inibir usos inadequados ou irresponsáveis.

REFERÊNCIAS

- ARCHER, L.B. Systematic method for designers. In N. Cross (ed.), **Developments in Design Methodology**. John Wiley, 1984.
- BECKER et. al. Potencial das interfaces cérebro máquina no aprimoramento da recomendação de conteúdos em sistemas de áudio e vídeo sob demanda. In Ferraz de Abreu, J., Abásolo Guerrero, M. J., Almeida, P., & Silva, T. (Ed.). **Proceedings of the 9th Iberoamerican Conference on Applications and Usability of Interactive TV-jAUTI 2020**, 2021.
- BERRIDGE, K.; Winkielman, P. What is an unconscious emotion? (The case for unconscious "liking"). **Cognition and emotion**, 2003.
- BRUNNER, Clemens et al. BNCI Horizon 2020: towards a roadmap for the BCI community. **Brain-computer interfaces**, v. 2, n. 1, p. 1-10, 2015.
- DMReview. Glossary. SourceMedia, Brookfield, WI, 2007. Disponível em: www.dmreview.com/glossary/a.html.
- DEMOS, J. **Getting Started with Neurofeedback**. W. W. Norton & Company Editora, 2005.
- DRESCH, et al. **Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement**. Springer, Cham, 2015.
- HEVNER, A. R., e Mills, H. D. Box-structured requirements determination methods. **Decision Support Systems**, 13(3-4), 223-239, 1995.
- HEVNER, et al. Design research in information systems research. **MIS Quarterly**, 28, 1, 75-105, 2004.

- JÄRVINEN, P. Action research is similar to design science. **Quality & Quantity**, 41, 1, 37–54, 2007.
- JOHNSON-LAIRD, P., e Byrne, R. A gentle introduction. Mental Models Website, **School of Psychology**, Trinity College, 2000. Disponível em: www.tcd.ie/Psychology/Ruth_Byrne/mental_models/.
- MARCH, S., e Smith, G. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, 15, 4, 251–266, 1995.
- MONORI, F., e Oniga, S. Processing EEG signals acquired from a consumer grade BCI device. **Carpathian Journal of Electronic & Computer Engineering**, v. 11, n. 2, 2018.
- PORIYA et al. Non-Personalized Recommender Systems and User-based Collaborative Recommender Systems. **International Journal of Applied Information Systems (IJ AIS)**. Foundation of Computer Science FCS. Volume 6 – No. 9, 2014.
- RICCI et al. Introduction to recommender systems handbook. **Recommender Systems Handbook**. Springer, 2011.
- SAHA, Simanto et al. Progress in Brain Computer Interface: Challenges and Potentials. **Frontiers in Systems Neuroscience**, v. 15, p. 4, 2021.
- SAŁABUN, W. Processing and spectral analysis of the raw EEG signal from the MindWave. **Przegląd Elektrotechniczny**, v. 90, n. 2, p. 169-174, 2014.
- SILVERSMITH, Daniel B. et al. Plug-and-play control of a brain–computer interface through neural map stabilization. **Nature Biotechnology**, v. 39, n. 3, p. 326-335, 2021.
- STEPHANIDIS, et al. Seven HCI grand challenges. **International Journal of Human–Computer Interaction**, 35(14), 1229-1269, 2019.
- TOSCANO, et al. HCI. Methods and Practices for Audiovisual Systems and Their Potential Contribution to Universal Design for Learning: A Systematic Literature Review. In: **International Conference on Human-Computer Interaction**. Springer, Cham, p. 526-541, 2019.
- YIN, et al. **Challenging the long tail recommendation**. pré-impressão arXiv arXiv: 1205,6700, 2012.
- ZENG, et al. Declaration on the ethics of brain–computer interfaces and augment intelligence. **AI Ethics** 1, 209–211, 2021.
- ZHAO, K., e Pi, J. A Stable Collaborative Filtering Algorithm for Long Tail Recommendation. **Journal of Physics: Conference Series** Vol. 1176, No. 2, p. 022033, 2019.