

IMPACTOS NEUROFISIOLÓGICOS DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM

Sâmela da Silva Santos¹;

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, Espírito Santo.

<https://lattes.cnpq.br/6513691549800452>

Márcia Regina Holanda da Cunha².

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, Espírito Santo.

<https://lattes.cnpq.br/6729734652606777>

RESUMO: Sob a perspectiva da neurofisiologia cognitiva, a aprendizagem resulta da interação entre mecanismos atencionais, funções executivas e sistemas de memória. Logo, jogos digitais, ambientes interativos e estratégias de gamificação são utilizados como contextos experimentais para investigar a modulação desses sistemas e seu impacto para a saúde cognitiva. O presente trabalho teve como objetivo analisar, a partir de uma revisão sistemática, como as tecnologias digitais mobilizam processos atencionais, funções executivas e sistemas de memória, discutindo suas implicações para a aprendizagem e para a saúde cognitiva. A revisão foi conduzida conforme as diretrizes do protocolo PRISMA 2020, com buscas realizadas nas bases PubMed, SciELO, ERIC e Scopus. Os resultados indicam que jogos digitais e estratégias gamificadas mobilizam redes frontoparietais associadas ao controle atencional, à memória de trabalho e ao controle executivo. No entanto, embora as tecnologias digitais promovam modulação neurofisiológica de sistemas cognitivos relevantes para a aprendizagem, as evidências disponíveis ainda são insuficientes para afirmar que tais recursos resultem, de forma direta e duradoura, em consolidação da aprendizagem. Os achados reforçam que o impacto das tecnologias digitais depende menos do recurso em si e mais da forma como as demandas cognitivas são estruturadas.

PALAVRAS-CHAVE: Neurofisiologia cognitiva. Gamificação. Funções executivas

NEUROPHYSIOLOGICAL IMPACTS OF DIGITAL TECHNOLOGIES ON THE LEARNING PROCESS

ABSTRACT: From the perspective of cognitive neurophysiology, learning results from the interaction between attentional mechanisms, executive functions, and memory systems. Therefore, digital games., interactive environments, and gamification strategies are used as experimental contexts to investigate the modulation of these systems and their impact

on cognitive health. The present study aimed to analyze, through a systematic review, how digital technologies mobilize attentional processes, executive functions, and memory systems, discussing their implications for learning and cognitive health. The review was conducted according to the PRISMA 2020 protocol guidelines, with searches performed in PubMed, SciELO, ERIC, and Scopus databases. The results indicate that digital games and gamified strategies mobilize frontoparietal networks associated with attentional control, working memory, and executive control. However, although digital technologies promote neurophysiological modulation of cognitive systems relevant to learning, the available evidence is still insufficient to assert that such resources result, directly and lastingly, in learning consolidation. The findings reinforce that the impact of digital technologies depends less on the resource itself and more on how cognitive demands are structured.

KEY-WORDS: Cognitive neurophysiology, Gamification, Executive functions

INTRODUÇÃO

A capacidade de aprender constitui um dos pilares fundamentais da adaptação biológica e da sobrevivência das espécies. Desde organismos unicelulares até sistemas nervosos altamente complexos, a habilidade de modificar respostas em função da experiência representa uma vantagem evolutiva essencial. No ser humano, esse processo alcança elevado grau de sofisticação, possibilitando não apenas a adaptação ao ambiente físico, mas também a construção de culturas, linguagens e sistemas simbólicos complexos.

Sob a perspectiva neurobiológica, aprender implica a reorganização contínua de circuitos sinápticos em resposta às experiências vividas, processo este, que evolui diretamente os sistemas de memória. Ao longo da vida, o cérebro ajusta padrões de ativação e fortalece conexões específicas, processo denominado plasticidade neural. Tal fenômeno viabiliza a codificação, a integração e a consolidação de informações, permitindo modificações relativamente duradouras no comportamento, base funcional da aprendizagem (Kandel et al., 2014).

Estudos de neuroimagem por Ressonância Magnética Funcional (fMRI - Functional Magnetic Resonance Imaging), associados a testes cognitivos, identificam atividade cerebral e as áreas correspondentes durante o desempenho de determinada tarefa (**Stark; Squire, 2000**). Nesse âmbito, avanços nas pesquisas sobre aprendizagem e memória podem indicar como ocorrem o processamento e o armazenamento das informações no cérebro (Kandel et al., 2014).

Fisiologicamente, a informação é codificada pela memória de trabalho (MT) (Silverthorn, 2017). Estas são, criteriosamente, filtradas e aquelas que forem consideradas importantes são mantidas por um período maior de tempo. Essa distinção no curso temporal de armazenamento de uma informação é debatida na literatura específica e pode ser conceitualmente classificada como Memória de Curto Prazo (MCP) (Izquierdo, 2011).

Este sistema de memória é controlado por mecanismos constituintes do córtex pré-frontal, que desempenham papel central no controle da codificação, da manutenção e da evocação das informações na memória. É importante destacar que essa região não atua meramente como um sistema de armazenamento, mas como um sistema de controle executivo que mantém representações atuais, embora transitórias, e também direciona a atenção para informações consideradas importantes (**Fuster, 2002; Goldberg, 2002**).

As informações consolidadas podem ser armazenadas por um período indeterminado em redes neurais distribuídas por todo o encéfalo. Esse sistema de armazenamento é classificado como memória de longo prazo (MLP) e pode ser compreendido a partir do nível de consciência necessário à sua evocação (Kandel et al., 2014). Conceitualmente, a MLP é classificada como memória implícita ou não declarativa, entendida como um tipo de memória inconsciente, observado durante o desenvolvimento de uma tarefa ou habilidade. A memória explícita, também conhecida como declarativa, é aquela que se refere a acontecimentos autobiográficos e experiências vividas (episódica), além de conhecimentos sobre fatos e conceitos a respeito do mundo (semântica) (Squire, 2004).

Evidências neurofisiológicas indicam que um processo de codificação eficiente de novos conteúdos depende diretamente da capacidade de manter o foco atencional e de inibir estímulos distratores, favorecendo a integração da informação aos sistemas de memória de longo prazo (Cosenza; Guerra, 2011; Izquierdo, 2011). Complementarmente, a codificação das informações pode ser modulada pelas características da tarefa desempenhada, pelo nível de complexidade e pela interação com outros processos cognitivos.

Adicionalmente, neurônios dopaminérgicos formam a base do sistema de recompensa e uma de suas atribuições é o chamado erro de previsão de recompensa, ou seja, a diferença entre o resultado esperado (expectativa) e o resultado obtido (realidade), mecanismo fundamental do processo de adaptação comportamental (Schultz, 2016). Este mecanismo atua como um sinal de ensino para o cérebro, ajustando informações internas e fortalecendo associações entre ações e consequências. Logo, o que será aprendido é mediado pelos sistemas de recompensa capazes de regular o engajamento cognitivo, favorecer a manutenção do esforço, orientar a atenção e potencializar a codificação e a consolidação das informações (Kandel et al., 2014; Izquierdo, 2011). Ainda, a busca pelo estímulo que potencialmente oferece o reforço cognitivo desejado é compreendida como motivação e é fortemente dependente da dopamina (**Berridge; Robinson, 2016**).

Estes conceitos são explorados de forma significativa através de técnicas que buscam modular o comportamento mediante emprego de uma tarefa, por exemplo a Gamificação. Esta técnica, utiliza elementos de jogos como feedback imediato, progressão de desafios, recompensas simbólicas, que são capazes de ativar circuitos motivacionais e de reforço. Logo, os jogos digitais e ambientes gamificados favorecem o engajamento, a persistência e o esforço.

Atualmente, grande parte das interações humanas passa a ser intermediada por dispositivos digitais que ampliam o acesso à informação e modificam a forma como os conteúdos são apresentados e processados. Estudos recentes indicam que o uso intensivo das tecnologias digitais pode impactar o controle atencional, sobretudo em função da sobrecarga informacional, além de interferir na transferência de conteúdos da memória de curto prazo para a memória de longo prazo, processo essencial para a aprendizagem (Shanmugasundaram; Tamilarasu, 2023).

Sob a perspectiva da neurociência cognitiva, atividades que exigem alternância de foco, flexibilidade cognitiva e controle atencional, como aquelas desempenhadas em ambientes digitais, têm sido associadas ao aumento da conectividade funcional entre sistemas de controle executivo e redes relacionadas à memória declarativa (Voss et al., 2012). Contudo, apesar do crescimento de investigações que buscam uma relação entre tecnologias digitais e processos cognitivos, observa-se que grande parte dos estudos se concentram na mensuração neurofisiológica sem considerar suas possíveis implicações para a aprendizagem e saúde cognitiva.

Diante desse cenário, questiona-se: como diferentes recursos tecnológicos mobilizam os processos atencionais, funções executivas e sistemas de memória e como o uso dessas ferramentas podem impactar o processo de aprendizagem?

OBJETIVO

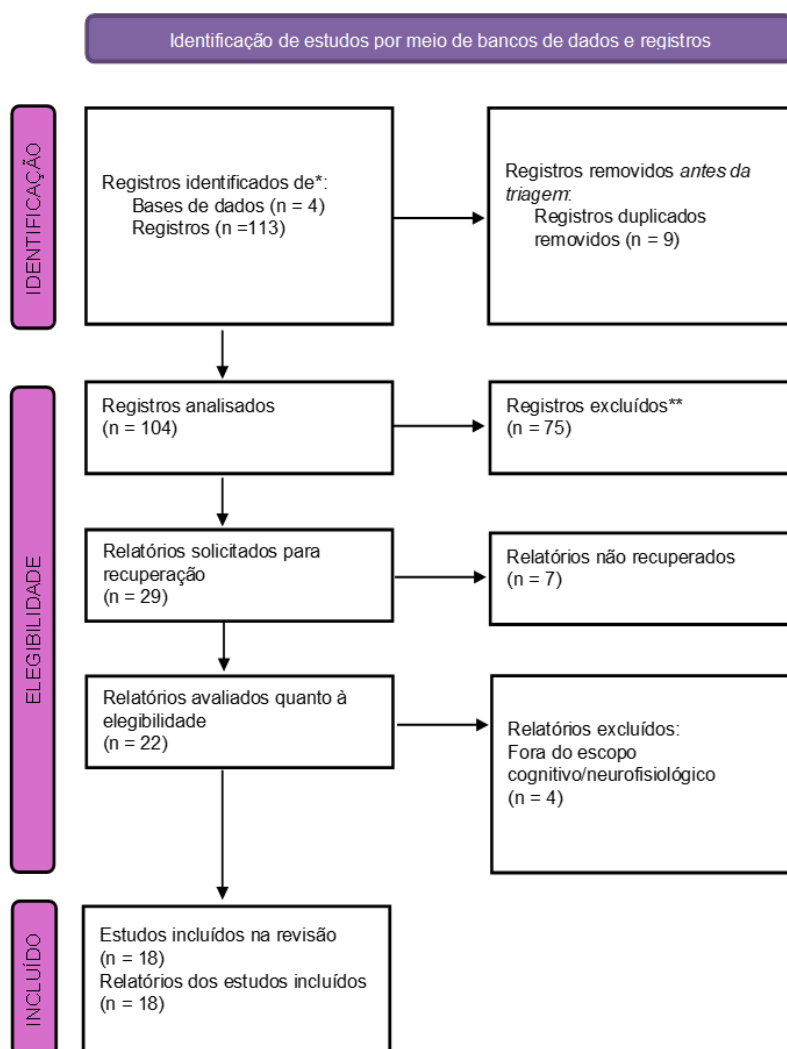
Analisar, a partir de uma revisão sistemática, como as tecnologias digitais mobilizam processos atencionais, funções executivas e sistemas de memória, discutindo suas implicações para a aprendizagem.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica sistemática de caráter exploratório. As buscas foram realizadas nas bases de dados PubMed, SciELO, ERIC e Scopus, sem delimitação temporal e os descritores empregados foram: (“Neurophysiology” OR “Neurosciences” OR “Neuronal Plasticity”) AND (“Attention” OR “Executive Function” OR “Cognitive Demand”) AND (“Educational Technology” OR “Gamification” OR “Video Games”) AND (“Learning”). Considerou-se, publicações em português, inglês e espanhol que se caracterizavam como artigos originais, revisões sistemáticas, meta-análises e estudos de caso que abordassem mecanismos neurofisiológicos da atenção, funções executivas e sua relação com a aprendizagem decorrente do uso de tecnologias digitais e de estratégias de gamificação.

A seleção dos estudos ocorreu em três etapas: (i) triagem por título e resumo, (ii) leitura do texto completo para verificação dos critérios de elegibilidade e (iii) definição dos estudos incluídos na síntese final. A extração dos dados foi realizada por meio de uma planilha padronizada, que contempla o objetivo da análise, as características metodológicas, o tipo de tecnologia utilizada, o tipo de tarefa, os processos cognitivos investigados, o tipo de evidência neurofisiológica e os principais resultados. O fluxo completo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos é apresentado no fluxograma PRISMA* (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma do processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos, elaborado conforme as diretrizes do PRISMA 2020 (Page et al., 2021). O diagrama apresenta o número de registros identificados nas bases de dados, as etapas



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao final do processo de elegibilidade, foram incluídos 18 estudos que investigaram a relação entre tecnologias digitais, processos atencionais e funções executivas. Observou-se predominância de delineamentos experimentais ($n = 9$), seguidos por revisões bibliográficas ($n = 7$). Apenas um estudo adotou delineamento quase-experimental ($n = 1$), enquanto outro não apresentou classificação metodológica claramente definida. Esse padrão indica maior concentração de investigações voltadas à análise experimental de processos cognitivos e embora a literatura demonstre evidências consistentes de modulação neurofisiológica dos processos atencionais em contextos digitais, os resultados desta revisão indicam que tais investigações raramente são acompanhadas de avaliação sistemática da aprendizagem e seu impacto sobre a saúde cognitiva.

Uma análise dos estudos incluídos identifica que os processos atencionais constituíram o foco principal das investigações. Deste modo, ao observar a relação entre tecnologia e processos atencionais os resultados indicam que jogos digitais concentraram maior número de investigações envolvendo atenção sustentada, seletiva e dividida. De modo semelhante, Corbetta e Shulman (2002) reforçam que a orientação e o controle atencional envolvem redes distribuídas e funcionalmente especializadas, categorias consideradas importantes para os estudos que envolvem aprendizagem e tecnologia. Propostas de gamificação também se associaram principalmente à atenção sustentada e seletiva, embora em menor frequência. No entanto, conforme observado nos resultados desta revisão, parte significativa dos estudos analisados aborda a atenção de forma global, sem discriminação entre seus subcomponentes, o que pode comprometer a precisão das inferências realizadas sobre seus impactos a saúde cognitiva e ao processo de aprendizagem.

Além disso, evidências provenientes de pesquisas com jogos digitais indicam que regimes de treinamento complexos podem promover reorganização funcional e maior eficiência em sistemas atencionais e executivos (Bavelier et al., 2012; Anguera et al., 2013; Voss et al., 2012). Tais achados sugerem que ambientes digitais têm potencial para mobilizar múltiplos sistemas cognitivos simultaneamente, especialmente quando estruturados como tarefas desafiadoras e progressivas. Nesse contexto, o engajamento cognitivo assume papel central, uma vez que jogos digitais e estratégias de gamificação tendem a favorecer maior envolvimento atencional, persistência na tarefa e ativação motivacional (Green; Bavelier, 2008; Juárez-Varón et al., 2024). Logo, assume-se que a utilização de jogos digitais e estratégias de gamificação proporcionem maior engajamento cognitivo e bem-estar durante o desempenho de tarefas dessa natureza.

Estudos aplicados em contextos educacionais, como investigações envolvendo o uso da plataforma Classcraft, também demonstram que estratégias gamificadas podem ampliar o engajamento estudantil e a participação ativa em tarefas cognitivas estruturadas (Cunha et al, 2023). Esses achados reforçam a ideia de que o potencial das tecnologias digitais não reside apenas na ativação neural observável, mas na capacidade de estruturar

experiências que integrem desafio cognitivo, motivação e autorregulação promovendo bem-estar cognitivo e emocional.

Evidências eletrofisiológicas discutidas por Smith, McEvoy e Gevins (1999) demonstram que alterações em bandas específicas, como theta frontal média e alfa posterior, podem refletir maior engajamento cognitivo e eficiência neural durante tarefas cognitivas. Contudo, como discutem Kandel et al. (2014) e McGaugh (2015), a consolidação da memória depende não apenas da ativação momentânea de circuitos corticais, mas da interação entre sistemas atencionais, emocionais e motivacionais ao longo do tempo. Nesse sentido, embora experiências gamificadas possam aumentar engajamento e motivação (Juárez-Varón et al., 2024), tais estados não se traduzem automaticamente em aprendizagem duradoura.

Adicionalmente, autores como Cosenza e Guerra (2011) alertam que a sobrecarga cognitiva e a fragmentação atencional podem comprometer a consolidação da informação, especialmente em ambientes altamente estimulantes. Esse aspecto reforça a necessidade de equilíbrio entre desafio cognitivo e organização pedagógica. Assim, os resultados desta revisão sugerem que o impacto das tecnologias digitais sobre a aprendizagem e a saúde cognitiva não é inerente ao recurso tecnológico em si, mas depende da forma como as demandas cognitivas são estruturadas e articuladas aos mecanismos neurobiológicos envolvidos na atenção, nas funções executivas e na memória de longo prazo.

Em outras palavras, esses resultados reforçam a ideia de que o impacto das tecnologias sobre a aprendizagem depende menos do recurso em si e mais de como ele é estruturado para ativar mecanismos neurocognitivos fundamentais ao aprendizado e bem-estar. Em outras palavras, o impacto das tecnologias digitais sobre a aprendizagem emerge da interação entre mecanismos neurobiológicos da atenção, funções executivas e motivação, e não do uso da tecnologia em si.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sistemática permitiu organizar e analisar evidências empíricas acerca dos mecanismos neurofisiológicos da atenção e das funções executivas investigados em estudos que utilizam tecnologias digitais e estratégias de gamificação no contexto da aprendizagem.

A maioria dos estudos concentra-se na mobilização imediata de processos atencionais e executivos, mas raramente avalia retenção, transferência ou desempenho acadêmico ao longo do tempo e como esse recurso impacta a saúde cognitiva.

Adicionalmente, verificou-se que parte da literatura aborda atenção e funções executivas de maneira global, sem discriminação clara de seus subcomponentes, o que pode limitar a precisão conceitual e dificultar comparações entre investigações. Observa-se também que as evidências disponíveis referem-se predominantemente à ativação funcional

transitória, e não à demonstração direta de plasticidade estrutural consolidada.

Assim, embora jogos digitais e estratégias gamificadas mobilizem sistemas atencionais, executivos e motivacionais, não se pode afirmar, com base nos estudos analisados, que tais recursos promovam melhoria direta e generalizável da aprendizagem. O que se pode sustentar é que, quando estruturadas como tarefas cognitivamente exigentes e pedagogicamente orientadas, as tecnologias digitais podem criar condições neurocognitivas potencialmente favoráveis à aquisição da informação e bem-estar.

Diante desse cenário, futuras pesquisas devem buscar maior integração entre medidas neurofisiológicas, desempenho comportamental e indicadores educacionais ao longo do tempo. Investigações longitudinais que articulem marcadores neurais a avaliações estruturadas de retenção e transferência poderão contribuir para esclarecer se a modulação atencional observada em ambientes digitais se traduz, de fato, em consolidação duradoura da aprendizagem. Além disso, recomenda-se maior precisão conceitual na definição dos construtos analisados, especialmente na distinção entre subcomponentes da atenção e das funções executivas.

Por fim, destaca-se que o impacto das tecnologias digitais sobre a aprendizagem não é inerente ao recurso tecnológico em si, mas depende da forma como as demandas cognitivas são organizadas para mobilizar mecanismos neurobiológicos fundamentais da cognição. O avanço do campo exige, portanto, não apenas inovação tecnológica, mas rigor metodológico e integração entre evidências neurofisiológicas e práticas educacionais fundamentadas.

REFERÊNCIAS

ANGUERA, Joaquin A.; BOLDING, Kayla A.; RENAULT, Alexandra; et al. **Video game training enhances cognitive control in older adults**. *Nature*, London, v. 501, n. 7465, p. 97–101, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature12486>

BAVELIER, Daphne; GREEN, C. Shawn; POUGET, Alexandre; SCHRATER, Paul. **Brain plasticity through the life span: learning to learn and action video games**. *Annual Review of Neuroscience*, v. 35, p. 391–416, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-060909-152832>

BERRIDGE, Kent C.; ROBINSON, Terry E. **Liking, wanting, and the incentive-sensitization theory of addiction**. *American Psychologist*, v. 71, n. 8, p. 670–679, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1037/amp0000059>

CORBETTA, Maurizio; SHULMAN, Gordon L. **Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain**. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 3, n. 3, p. 201–215, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrn755>

COSENZA, Ramon M.; GUERRA, Leonor B. **Neurociência e educação: como o cérebro**

aprende. Porto Alegre: Artmed, 2011.

CUNHA, Márcia Regina Holanda da; LIMA, Maressa C. M. de; et al. **Integração da Gamificação e Tecnologias Digitais no Processo de Ensino e Aprendizagem em Ciências:** Promovendo o Engajamento da Geração Z em uma Escola Pública. *Revista Arace*, v. 4, n. 1, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/2657>

CUNHA, Márcia Regina Holanda da; SANTOS, Sâmelá Silva; JACINTO, Bárbara Ross Poeyes; ALVES, Larissa Zanetti; SANTOS, Kaique Taylor Grippa dos; MAUAD, Hélder. **Utilization of the gamified digital platform Classcraft as a strategy for teaching cellular biology in higher education.** *Global Journal of Science Frontier Research: Interdisciplinary*, v. 23, n. 2, p. 31–42, 2023.

FUSTER, Joaquin M. **The prefrontal cortex.** 4. ed. London: Academic Press, 2002.

GOLDBERG, Elkhonon. **The executive brain:** frontal lobes and the civilized mind. Oxford: Oxford University Press, 2002.

GREEN, C. Shawn; BAVELIER, Daphne. **Exercising your brain:** a review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychology and Aging*, v. 23, n. 4, p. 692–701, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1037/a0014345>

IZQUIERDO, Ivan. **Memória.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011

JUÁREZ-VARÓN, David et al. **A neurotechnological study to quantify differences in brain activity using game-based learning:** gamification vs. Traditional teaching. *International Journal of Game-Based Learning*, v. 14, n. 1, p. 1–22, 2024. DOI: <https://doi.org/10.4018/IJGBL.349219>

KANDEL, Eric R.; KOESTER, John D.; MACK, Sarah H.; SIEGELBAUM, Steven A. **Princípios de neurociências.** 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

McGAUGH, James L. **Consolidating memories.** *Annual Review of Psychology*, v. 66, p. 1–24, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-014954>

PAGE, Matthew J. et al. **The PRISMA 2020 statement:** an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 372, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

SILVERTHORN, Dee Unglaub. **Fisiologia humana:** uma abordagem integrada. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

SMITH, Michael E.; McEVOY, L. Kelly; GEVINS, Alan. **Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition.** *Cognitive Brain Research*, v. 7, n. 3, p. 389–404, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(98\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(98)00043-3)

SHANMUGASUNDARAM, Mathura; TAMILARASU, Arunkumar. **The impact of digital technology, social media, and artificial intelligence on cognitive functions:** a review. *Frontiers in Cognition*, v. 2, p. 1–12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcogn.2023.1203077>

SQUIRE, Larry R. **Memory systems of the brain**: a brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory*, v. 82, n. 3, p. 171–177, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2004.06.005>

VOSS, Michelle W. et al. **Effects of training strategies implemented in a complex videogame on functional connectivity of attentional networks**. *NeuroImage*, v. 59, n. 1, p. 138–148, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.03.052>