

EXERGAMES DE BAIXO CUSTO PARA ESTIMULAÇÃO DE FUNÇÕES EXECUTIVAS: DESENVOLVIMENTO E APLICABILIDADE CLÍNICA DO JOGO UBA COM MAKEY MAKEY E CLICKNEURONS

Tiago José Benedito Eugênio¹.

¹Universidade Federal de São Paulo, UNIFESP, São Paulo, SP.

<https://lattes.cnpq.br/1101624272991092>

RESUMO: Os exergames combinam demandas motoras e cognitivas em ambientes digitais interativos, constituindo uma estratégia promissora para a estimulação de funções executivas em crianças e adolescentes. O presente capítulo descreve o desenvolvimento do jogo UBA, um exergame de baixo custo integrado à plataforma ClickNeurons, que utiliza o dispositivo Makey Makey como interface física para transformar movimentos corporais em comandos digitais. No jogo, o participante deve coletar alimentos saudáveis e evitar estímulos distratores (doces e *fast-foods*), exigindo controle inibitório, atenção seletiva, velocidade de processamento e monitoramento de erros. O sistema registra automaticamente indicadores objetivos de desempenho, como acertos, erros, tempo de resposta e o IPJ, permitindo o acompanhamento longitudinal da evolução clínica. O capítulo discute as bases teóricas dos exergames, detalha a arquitetura tecnológica do UBA e apresenta possibilidades de aplicação na neuropsicopedagogia, neuropsicologia e contextos educacionais. Argumenta-se que soluções de baixo custo como a combinação Makey Makey–ClickNeurons representam uma alternativa inovadora, acessível e replicável para a intervenção cognitiva baseada em evidências.

PALAVRAS-CHAVE: Exergames. Funções executivas. Makey Makey.

LOW-COST EXERGAMES FOR EXECUTIVE FUNCTION TRAINING: DEVELOPMENT AND CLINICAL APPLICABILITY OF THE UBA GAME USING MAKEY MAKEY AND CLICKNEURONS

ABSTRACT: Exergames combine motor and cognitive demands in interactive digital environments and represent a promising strategy for stimulating executive functions in children and adolescents. This chapter describes the development of UBA, a low-cost exergame integrated into the ClickNeurons platform, which uses the Makey Makey device as a physical interface to convert body movements into digital commands. In the game, the participant must collect healthy foods while avoiding distractors such as sweets and

fast foods, requiring inhibitory control, selective attention, processing speed, and error monitoring. The system automatically records objective performance indicators, including accuracy, commission errors, response time, and the Game Progress Index (GPI), enabling longitudinal monitoring of clinical progress. The chapter discusses the theoretical foundations of exergames, details the technological architecture of UBA, and presents potential applications in neuropsychopedagogy, neuropsychology, and educational settings. It is argued that low-cost solutions such as the Makey Makey–ClickNeurons combination represent an innovative, accessible, and replicable alternative for evidence-based cognitive intervention.

KEY-WORDS: Exergames. Executive functions. Makey Makey.

INTRODUÇÃO

O avanço das neurociências cognitivas nas últimas décadas consolidou a compreensão de que o desempenho acadêmico e a adaptação funcional dependem não apenas da aquisição de conteúdos, mas também da integridade de processos cognitivos de autorregulação conhecidos como funções executivas. Esses processos permitem ao indivíduo planejar, monitorar e ajustar seu comportamento diante de objetivos e demandas ambientais em constante mudança (LURIA, 1966; STUSS e BENZON, 1986; MIYAKE et al., 2000).

O conceito contemporâneo de funções executivas deriva, em grande medida, da tradição neuropsicológica inaugurada por Alexander Luria, que descreveu o córtex pré-frontal como um sistema responsável pela programação, regulação e verificação da atividade mental. Posteriormente, modelos cognitivos e estatísticos demonstraram que, embora relacionados, componentes como controle inibitório, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva apresentam relativa dissociabilidade estrutural e funcional (MIYAKE et al., 2000). Em síntese influente, Adele Diamond (2013) argumentou que essas três funções nucleares sustentam habilidades complexas, como raciocínio, resolução de problemas e planejamento.

Diversas evidências indicam que as funções executivas são fortes preditoras do sucesso acadêmico, do comportamento adaptativo e da saúde mental ao longo do desenvolvimento. Estudos longitudinais demonstram que o desempenho em tarefas executivas na infância está associado a competências posteriores em leitura, matemática, autorregulação emocional e inserção social (BAIR e RAZZA, 2007; MCCLELLAND et al., 2014).

Paralelamente, um corpo crescente de pesquisas tem evidenciado que cognição e movimento compartilham bases neurais e funcionais interdependentes. Estruturas tradicionalmente associadas ao controle motor, como cerebelo e gânglios da base, participam ativamente de processos executivos, contribuindo para automatização, monitoramento de erros e ajuste temporal do comportamento (SCHMAHMANN, 1997; STRICK et al., 2009).

Essa integração ajuda a explicar por que intervenções fisicamente ativas podem produzir efeitos positivos sobre atenção e funções executivas (HILLMAN et al., 2014; BEST, 2010).

Nesse contexto, os exergames emergem como uma estratégia particularmente promissora. O termo designa jogos digitais que exigem movimentos corporais para a interação com o sistema, combinando simultaneamente demandas motoras, cognitivas e motivacionais (BIDDISS & IRWIN, 2010; STAIANO & CALVERT, 2011). Ao incorporar objetivos claros, feedback imediato e progressão adaptativa, esses sistemas podem aumentar o engajamento e favorecer a adesão a programas terapêuticos.

Meta-análises recentes sugerem que exergames podem promover ganhos modestos, porém consistentes, em atenção, velocidade de processamento e funções executivas, especialmente quando as tarefas combinam atividade física e desafios cognitivos significativos (XIONG et al., 2023; BENZING e SCHMIDT, 2018). Além dos benefícios cognitivos, esses recursos apresentam alta aceitabilidade entre crianças e adolescentes, o que é particularmente relevante em contextos de intervenção prolongada.

Apesar do potencial da área, muitos sistemas dependem de consoles ou sensores proprietários, como Nintendo Wii e Xbox Kinect, o que pode limitar sua adoção em clínicas e escolas com restrições orçamentárias. Nesse cenário, tecnologias abertas e de baixo custo assumem papel estratégico.

Um exemplo notável é o Makey Makey, desenvolvido por Jay Silver e Eric Rosenbaum no MIT Media Lab. O dispositivo foi concebido com base na filosofia da aprendizagem criativa, permitindo transformar objetos condutivos em interfaces físicas capazes de emular comandos de teclado e mouse. Seu objetivo central é democratizar a prototipagem de experiências interativas, possibilitando que educadores e clínicos desenvolvam recursos personalizados com baixo custo e alta flexibilidade.

Embora amplamente difundido em projetos educacionais, o Makey Makey ainda é pouco explorado em estudos clínicos e neuropsicológicos, o que representa uma oportunidade relevante de inovação aplicada. Sua integração com jogos desenvolvidos em HTML5 possibilita a criação de exergames customizados e acompanhados por sistemas de *learning analytics*.

No contexto da avaliação e intervenção cognitiva, a plataforma ClickNeurons tem sido utilizada para desenvolver jogos digitais voltados ao rastreo e à estimulação de habilidades cognitivas. Entre os indicadores gerados, destaca-se o IPJ ou GPI (Game Progress Index), métrica composta que integra precisão, velocidade e eficiência para monitorar o desempenho de forma longitudinal.

OBJETIVO

O presente capítulo tem como objetivo descrever o desenvolvimento do jogo UBA, um exergame de baixo custo criado na plataforma ClickNeurons e adaptado para uso com o

Makey Makey, destinado à estimulação de funções executivas em crianças e adolescentes. Especificamente, busca-se apresentar os fundamentos teóricos que sustentam a proposta, detalhar a arquitetura tecnológica do sistema, descrever as mecânicas de jogo associadas aos processos cognitivos-alvo e discutir suas possíveis aplicações em contextos de neuropsicopedagogia, neuropsicologia e reabilitação cognitiva.

Ao articular conhecimentos da neurociência cognitiva, do design de jogos digitais e da computação física, a proposta exemplifica uma abordagem translacional voltada à criação de soluções tecnológicas acessíveis, replicáveis e potencialmente escaláveis para a prática clínica e educacional. Dessa forma, o capítulo busca ilustrar como conceitos oriundos da pesquisa básica sobre funções executivas podem ser operacionalizados em ferramentas concretas de intervenção, contribuindo para aproximar a produção científica das demandas cotidianas de profissionais que atuam na intervenção e no desenvolvimento cognitivo.

METODOLOGIA

Delineamento do estudo

Trata-se de um estudo metodológico, de natureza aplicada e caráter descritivo, voltado ao desenvolvimento e à apresentação de um exergame de baixo custo para estimulação de funções executivas em crianças e adolescentes. Estudos metodológicos têm como finalidade descrever o processo de concepção, estruturação e implementação de instrumentos, protocolos ou tecnologias, enfatizando seus fundamentos teóricos, características operacionais e possibilidades de aplicação prática.

No presente trabalho, adotou-se uma perspectiva translacional, na qual conhecimentos oriundos da neurociência cognitiva, da psicologia do desenvolvimento, da ciência do movimento e do design de jogos digitais foram integrados para a construção de uma solução tecnológica com potencial de uso clínico e educacional.

Contexto Tecnológico

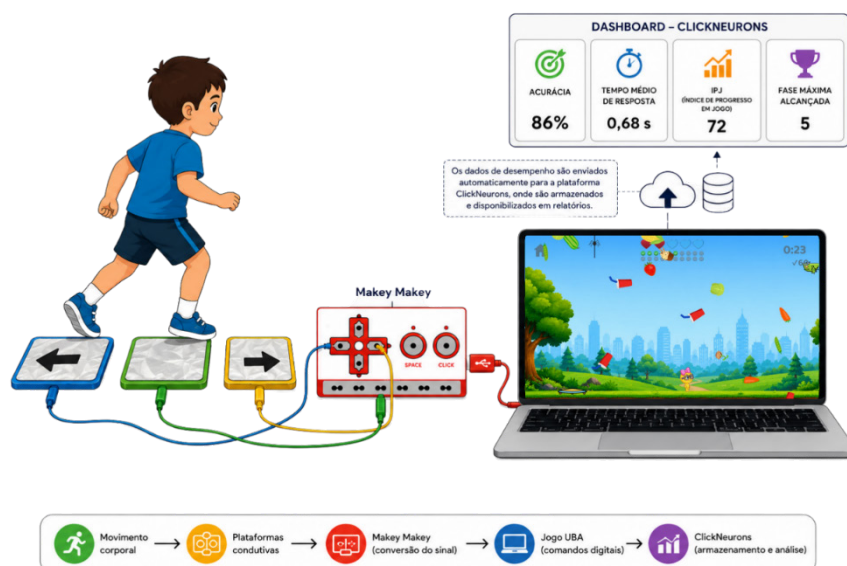
O exergame UBA foi desenvolvido no software Construct 3, uma plataforma de desenvolvimento de jogos em ambiente visual baseada em eventos, amplamente utilizada para a criação de aplicações interativas em HTML5. Após sua programação, o jogo foi exportado em formato HTML5 e disponibilizado na plataforma ClickNeurons, ambiente digital voltado ao rastreo e à estimulação de habilidades cognitivas em contextos clínicos e educacionais.

A plataforma ClickNeurons permite o armazenamento automatizado de variáveis comportamentais geradas durante a interação com os jogos, incluindo número de acertos, erros por comissão, omissões, tempo total de execução, tempo médio de resposta e índices compostos de desempenho, como o IPJ. Esses dados podem ser visualizados em relatórios

e dashboards, possibilitando o acompanhamento longitudinal do desempenho do usuário.

Para a adaptação do jogo à modalidade exergame, utilizou-se o dispositivo Makey Makey, uma placa eletrônica desenvolvida no MIT Media Lab que atua como emulador de teclado e mouse. Quando conectado ao computador por meio de interface USB, o dispositivo converte o fechamento de circuitos elétricos simples em comandos digitais, permitindo que superfícies confeccionadas com materiais condutivos sejam reconhecidas como teclas do teclado. A Figura 1 apresenta uma representação esquemática do sistema, evidenciando a interação entre o participante, as plataformas físicas, o dispositivo Makey Makey, o jogo UBA e o ambiente de armazenamento e análise de dados da plataforma ClickNeurons

Figura 1: Representação esquemática da arquitetura do exergame UBA, ilustrando a interação da criança com plataformas físicas conectadas ao Makey Makey, responsável por converter movimentos corporais em comandos digitais executados no jogo disponibilizado na plataforma ClickNeurons.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio da IA, ferramenta illustrae.co; prompt: *Scientific flat illustration showing a child standing on conductive floor pads connected by colorful wires to a Makey Makey board. The Makey Makey is connected via USB to a laptop displaying a 2D platform game where a character collects healthy foods and avoids junk foods. Above the laptop, a dashboard shows performance metrics such as accuracy, reaction time, and Game Progress Index (GPI). Clean vector style, white background, professional academic figure, suitable for a scientific book chapter.*

Desenvolvimento do jogo UBA

O jogo UBA foi programado em HTML5 e pode ser executado em navegadores modernos em computadores, notebooks e dispositivos mobile. A proposta consiste em um jogo de plataforma bidimensional no qual o participante controla um personagem responsável por coletar alimentos saudáveis e evitar estímulos distratores, como alimentos

ultraprocessados.

Na versão exergame, os comandos direcionais são acionados por meio de plataformas físicas conectadas ao Makey Makey. Essas plataformas podem ser confeccionadas com materiais simples e de baixo custo, como papelão, EVA, papel alumínio e fita adesiva condutiva, permitindo que o participante interaja com o jogo por meio de movimentos corporais, como passos laterais e saltos.

Fundamentos teóricos do design

O desenvolvimento do exergame UBA foi fundamentado em três eixos conceituais complementares, que integraram conhecimentos oriundos da neurociência cognitiva, do design instrucional baseado em jogos e da análise automatizada de dados comportamentais. A Tabela 1 apresenta uma síntese desses referenciais teóricos e de suas respectivas contribuições para o desenvolvimento do sistema.

Tabela 1 – referenciais teóricos para o desenvolvimento do exergame UBA.

EIXO CONCEITUAL	PRINCIPAIS REFERENCIAIS TEÓRICOS	CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DO UBA
Neurociência cognitiva	Luria (1966); Miyake et al. (2000); Diamond (2013)	Seleção dos processos cognitivos-alvo, com ênfase em controle inibitório, atenção seletiva, flexibilidade cognitiva e velocidade de processamento.
Design instrucional baseado em jogos	Csikszentmihalyi (1990); Gee (2003); Kapp (2012); Eugênio (2020)	Definição da narrativa, dos objetivos, do feedback imediato, da progressão de dificuldade e do uso de elementos motivacionais, como power-ups.
Computação física e interfaces tangíveis	Silver, Rosenbaum e Shaw (2012); Rosenbaum e Silver (2012)	Conversão de movimentos corporais em comandos digitais por meio do Makey Makey, permitindo a implementação do componente motor do exergame.
Learning analytics	Siemens (2013); Baker e Inventado (2014)	Registro automatizado de métricas comportamentais e o cálculo do IPJ para monitoramento longitudinal do desempenho.

Fonte: elaborado pelo autor

Mecânicas de jogo, progressão de dificuldade e variáveis registradas

O UBA foi concebido como um jogo de plataforma bidimensional no qual o participante deve coletar alimentos saudáveis e evitar estímulos distratores, como alimentos ultraprocessados. Embora a tarefa apresente uma interface simples e intuitiva, sua estrutura foi planejada para recrutar simultaneamente diferentes processos cognitivos associados às funções executivas e à atenção. Ao longo das fases, parâmetros como número de estímulos, velocidade de deslocamento, densidade de distratores e frequência de eventos especiais são progressivamente manipulados, aumentando gradualmente a complexidade da tarefa.

Além da progressão de dificuldade, o jogo incorpora elementos motivacionais, como power-ups que oferecem benefícios temporários ao jogador, contribuindo para a manutenção do engajamento e introduzindo variabilidade na experiência. Durante cada sessão, a plataforma registra automaticamente indicadores objetivos de desempenho, incluindo número de acertos, erros por comissão, tempo total de execução, tempo médio de resposta, fase máxima alcançada, vidas perdidas e o IPJ, métrica composta que integra precisão, velocidade e eficiência.

A Tabela 2 apresenta a correspondência entre as principais mecânicas do jogo e os processos cognitivos-alvo mobilizados durante a execução do UBA.

Tabela 2 – mecânicas e os processos cognitivos-alvo mobilizados pelo jogo UBA

MECÂNICA DO JOGO	PROCESSO COGNITIVO PREDOMINANTE	DESCRIÇÃO FUNCIONAL
Coletar apenas alimentos saudáveis	Atenção seletiva	Exige discriminar rapidamente estímulos relevantes em meio a distratores.
Evitar alimentos ultraprocessados	Controle inibitório	Requer suprimir respostas impulsivas a estímulos visualmente atrativos, porém incorretos.
Manter o desempenho ao longo das fases	Atenção sustentada	Demanda manutenção do foco e da consistência comportamental ao longo do tempo.
Adaptar-se ao aumento da dificuldade e a mudanças nas contingências	Flexibilidade cognitiva	Exige ajuste contínuo das estratégias de resposta.
Responder rapidamente aos estímulos	Velocidade de processamento	Relaciona-se à eficiência temporal na detecção e execução das respostas.
Corrigir o comportamento após colisões e erros	Monitoramento de erros	Favorece a detecção de falhas e o ajuste do comportamento subsequente.

Fonte: elaborado pelo autor

A integração entre os referenciais teóricos apresentados, a arquitetura tecnológica da plataforma e as mecânicas do jogo resultou no desenvolvimento de um exergame de baixo custo voltado à estimulação de funções executivas. Na seção seguinte, são discutidas as principais características do produto desenvolvido e suas potenciais contribuições para a prática clínica e educacional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O principal produto deste estudo foi o desenvolvimento do jogo UBA, um exergame de baixo custo que integra demandas motoras e cognitivas em um ambiente digital interativo, fundamentado em princípios da neurociência cognitiva, do design instrucional baseado em

jogos, da computação física e do learning analytics.

Sob a perspectiva translacional, o UBA exemplifica como conhecimentos oriundos da pesquisa básica sobre funções executivas podem ser convertidos em uma ferramenta concreta de intervenção. Conceitos amplamente investigados em paradigmas experimentais, como controle inibitório, atenção seletiva, monitoramento de erros e flexibilidade cognitiva, foram operacionalizados em mecânicas de jogo intuitivas, capazes de gerar indicadores quantitativos de desempenho e de apoiar a tomada de decisão clínica.

Do ponto de vista funcional, o jogo exige que o participante identifique e colete alimentos saudáveis, ao mesmo tempo em que evita estímulos distratores, como alimentos ultraprocessados. Essa dinâmica mobiliza simultaneamente diferentes processos cognitivos. A necessidade de selecionar estímulos relevantes em meio a múltiplos itens recruta atenção seletiva; a supressão de respostas impulsivas a estímulos visualmente atrativos demanda controle inibitório; a manutenção do desempenho ao longo das fases envolve atenção sustentada; e a adaptação a mudanças graduais na dificuldade exige flexibilidade cognitiva. Esse conjunto de demandas é consistente com recomendações da literatura, segundo as quais intervenções tendem a ser mais eficazes quando recrutam múltiplos componentes executivos em contextos motivadores e ecologicamente válidos (DIAMOND, 2013; BENZING e SCHMIDT, 2018).

A incorporação do Makey Makey ampliou a complexidade funcional da tarefa ao adicionar uma dimensão motora à experiência. Em vez de interagir exclusivamente com teclado, touch ou mouse, o participante passa a responder por meio de movimentos corporais, como passos laterais e deslocamentos sobre plataformas físicas. Essa adaptação aproxima o jogo do conceito de exergame e confere à atividade maior validade ecológica, uma vez que integra, em um mesmo contexto, demandas cognitivas, motoras e motivacionais semelhantes às encontradas em situações do cotidiano. Além de potencializar o recrutamento simultâneo de circuitos motores e executivos, essa característica torna a experiência mais natural, envolvente e funcional do ponto de vista terapêutico. Evidências neurocientíficas indicam que cerebelo, gânglios da base e córtex pré-frontal participam de redes integradas responsáveis pela seleção, temporização e monitoramento do comportamento, fornecendo respaldo teórico para abordagens que combinam movimento e cognição (SCHMAHMANN, 1997; STRICK et al., 2009; HILLMAN et al., 2014).

Outro diferencial do sistema reside na coleta automatizada de dados comportamentais. Ao final de cada sessão, a plataforma registra acertos, erros por comissão, tempo total de execução, e o IPJ. Essa métrica composta integra precisão, velocidade e eficiência em um único indicador, permitindo o acompanhamento longitudinal do desempenho e a visualização objetiva da evolução do participante. A adoção de *learning analytics* confere maior precisão ao processo interventivo e favorece uma prática clínica mais orientada por dados.

Os resultados conceituais deste trabalho convergem com a literatura que aponta benefícios cognitivos associados ao uso de exergames. Meta-análises recentes indicam efeitos positivos, ainda que de magnitude modesta, sobre atenção, velocidade de processamento e funções executivas, especialmente quando os jogos exigem elevada carga cognitiva e progressão estruturada de desafios (BENZING e SCHMIDT, 2018; XIONG et al., 2023). Nesse contexto, o UBA apresenta características consideradas favoráveis à eficácia, como objetivos claros, feedback imediato, manipulação sistemática da dificuldade e registro contínuo de indicadores objetivos.

Em comparação com plataformas comerciais, como Nintendo Wii ou Xbox Kinect, o UBA oferece vantagens importantes relacionadas ao custo, à flexibilidade de customização e à possibilidade de adaptação a objetivos clínicos específicos. O uso de materiais simples para construção das plataformas e a compatibilidade com navegadores web tornam o sistema potencialmente replicável em clínicas, escolas e ambientes domiciliares.

Além da aplicação em crianças com dificuldades de aprendizagem, o exergame apresenta potencial de utilização em programas de intervenção destinados a indivíduos com transtorno do déficit de atenção/hiperatividade (TDAH) e outras condições do neurodesenvolvimento frequentemente associadas a alterações em funções executivas. Sua natureza lúdica e intrinsecamente motivadora pode favorecer o engajamento e a adesão às atividades terapêuticas, fatores amplamente reconhecidos como importantes para o sucesso de intervenções cognitivas de média e longa duração.

Apesar de suas contribuições, este capítulo possui caráter metodológico e descritivo, não apresentando dados empíricos de eficácia clínica. Assim, as aplicações aqui discutidas devem ser interpretadas como hipóteses fundamentadas teoricamente e sustentadas pela literatura existente. Estudos futuros poderão investigar usabilidade, aceitabilidade, validade convergente com instrumentos neuropsicológicos, sensibilidade a mudanças e efeitos do treinamento sobre desfechos cognitivos e acadêmicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, o desenvolvimento do UBA demonstra que é possível integrar neurociência cognitiva, computação física, design de jogos e learning analytics em uma solução tecnológica acessível e potencialmente escalável. Ao converter evidências oriundas da pesquisa básica em um recurso concreto de intervenção, o sistema exemplifica uma abordagem translacional capaz de aproximar a produção científica das demandas cotidianas da prática clínica e educacional.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, G. E.; DELONG, M. R.; STRICK, P. L. Parallel organization of functionally segregated circuits linking basal ganglia and cortex. *Annual Review of Neuroscience*, v. 9,

p. 357–381, 1986.

BAKER, R. S.; INVENTADO, P. S. Educational data mining and learning analytics. In: LA-RUSSON, J. A.; WHITE, B. (org.). *Learning analytics: from research to practice*. New York: Springer, 2014. p. 61–75.

BENZING, V.; SCHMIDT, M. The effect of exergaming on executive functions in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, v. 28, n. 12, p. 2591–2610, 2018.

BEST, J. R. Effects of physical activity on children's executive function: contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, v. 30, n. 4, p. 331–351, 2010.

BIDDISS, E.; IRWIN, J. Active video games to promote physical activity in children and youth: a systematic review. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, v. 164, n. 7, p. 664–672, 2010.

BLAIR, C.; RAZZA, R. P. Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, v. 78, n. 2, p. 647–663, 2007.

CSIKSZENTMIHALYI, M. *Flow: the psychology of optimal experience*. New York: Harper & Row, 1990.

DIAMOND, A. Executive functions. *Annual Review of Psychology*, v. 64, p. 135–168, 2013.

EUGÊNIO, T. Aula em jogo: descomplicando a gamificação para educadores. São Paulo: Editora Évora, 2020.

GEE, J. P. *What video games have to teach us about learning and literacy*. New York: Palgrave Macmillan, 2003.

HILLMAN, C. H.; PONTIFEX, M. B.; CASTELLI, D. M. et al. Effects of the FITKids randomized controlled trial on executive control and brain function. *Pediatrics*, v. 134, n. 4, p. e1063–e1071, 2014.

KAPP, K. M. *The gamification of learning and instruction*. San Francisco: Pfeiffer, 2012.

LURIA, A. R. *Higher cortical functions in man*. New York: Basic Books, 1966.

MCCLELLAND, M. M.; ACOCK, A. C.; PICCININ, A.; RHEE, S. H.; STALLINGS, M. C. Relations between preschool attention span-persistence and age 25 educational outcomes. *Early Childhood Research Quarterly*, v. 28, n. 2, p. 314–324, 2013.

MIYAKE, A.; FRIEDMAN, N. P.; EMERSON, M. J.; WITZKI, A. H.; HOWERTER, A.; WAGER, T. D. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex frontal lobe tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, v. 41, n. 1, p. 49–100, 2000.

ROSENBAUM, E.; SILVER, J. Constructing new interfaces with Makey Makey. In: *Procee-*

dings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM, 2012.

SCHMAHMANN, J. D. *The cerebellum and cognition*. San Diego: Academic Press, 1997.

SIEMENS, G. Learning analytics: the emergence of a discipline. *American Behavioral Scientist*, v. 57, n. 10, p. 1380–1400, 2013.

SILVER, J.; ROSENBAUM, E.; SHAW, D. Makey Makey: improvising tangible and nature-based user interfaces. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*. New York: ACM, 2012. p. 367–370.

STAIANO, A. E.; CALVERT, S. L. Exergames for physical education courses: physical, social, and cognitive benefits. *Child Development Perspectives*, v. 5, n. 2, p. 93–98, 2011.

STRICK, P. L.; DUM, R. P.; FIEZ, J. A. Cerebellum and nonmotor function. *Annual Review of Neuroscience*, v. 32, p. 413–434, 2009.

STUSS, D. T.; BENSON, D. F. *The frontal lobes*. New York: Raven Press, 1986.

XIONG, S.; LI, H.; SUN, Y.; ZHANG, X. Effects of exergames on executive functions in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, v. 14, art. 1175804, 2023.