Journal of Health Informatics

J Health Inform. 2026;18:e1564
DOI: https://doi.org/10.59681/2175-4411.v18.2026.1564

ARTIGO ORIGINAL

Co-Design de um Jogo Sério Multimodal para Treinamento da Percepção Temporal em Distúrbios Neurobiológicos

Co-Design of a Multimodal Serious Game for Temporal Perception Training in Neurobiological Disorders

Co-diseño de un Juego Serio Multimodal para el Entrenamiento de la Percepción Temporal en Trastornos Neurobiológicos

Leinylson Fontinele Pereira[1], Daniel Lima Sousa[1], José Everton da Silva Fontenele[1], António Fernando Vasconcelos Cunha Castro Coelho[2], Silmar Silva Teixeira[1]

ORCID: 0000-0001-7564-452X · 0000-0001-5031-1147 · 0000-0001-5982-4707 · 0000-0001-7949-2877 · 0000-0002-9240-1228

[1] Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Saúde, Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPar), Parnaíba (PI), Brasil.

[2] Departamento de Engenharia Informática, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto, Portugal.

FICHA DO ARTIGO

TIPO
Artigo Original

IDENTIFICADOR
e1564

DOI
10.59681/2175-4411.v18.2026.1564

RECEBIDO
19/11/2025

APROVADO
31/01/2026

PUBLICADO
20/03/2026

PROCESSO DE AVALIAÇÃO
Double Blind Review

EDITOR RESPONSÁVEL
Juliano de Souza Gaspar

ACESSO
Aberto, CC BY 4.0

AUTOR CORRESPONDENTE
Leinylson Fontinele Pereira
leinylson@gmail.com

LICENÇA

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob a licença Creative Commons CC BY 4.0, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja corretamente citado.

CC BY 4.0

RESUMO

A percepção temporal é frequentemente comprometida em distúrbios neuropsiquiátricos, afetando funções executivas, atenção e autonomia. Este estudo apresenta o *"Chronos: Odisseias Alternativas"*, um jogo sério híbrido e imersivo para treinamento da percepção temporal, integrando abordagens neurobiológicas e psicofisiológicas. **Objetivos:** descrever o processo de co-design e apresentar os resultados da validação conceitual do protótipo. **Métodos:** adotando uma metodologia iterativa de co-design com profissionais da saúde e tecnologia. O jogo foi concebido sob o paradigma *Metaverse as a Service*, combinando estímulos multimodais (visuais, auditivos e interoceptivos) destinados a modular mecanismos neurais regulados pela dopamina. O Chronos integra três módulos: Cognify (tarefas cognitivas gamificadas), PercepTime (treinamento temporal em ambientes imersivos) e MoodTrack (autorrelatos emocionais). **Resultados:** a validação interdisciplinar demonstrou alta aceitação, destacando engajamento, clareza das mecânicas e coerência estética. Os participantes reconheceram o potencial clínico da abordagem multimodal e a relevância do uso de ambientes imersivos para a modulação temporal em condições como Alzheimer, Parkinson e TDAH. **Conclusão:** o Chronos apresenta viabilidade técnica e conceitual como solução terapêutica digital não invasiva, oferecendo um ambiente escalável e clinicamente relevante para a reabilitação da percepção temporal. Estudos futuros devem concentrar-se na avaliação da eficácia clínica e na personalização adaptativa com base em dados de desempenho.

Descritores: Percepção do Tempo; Jogos Sérios; Saúde Digital.

ABSTRACT

Temporal perception is frequently impaired in neuropsychiatric disorders, affecting executive functions, attention, and autonomy. This study presents Chronos: Alternative Odysseys, a hybrid and immersive serious game designed for temporal perception training, integrating neurobiological and psychophysiological approaches. **Objectives:** to describe the co-design process and present the results of the conceptual validation of the prototype. **Methods:** an iterative co-design methodology was adopted with health and technology professionals. The game was developed under the Metaverse as a Service paradigm, combining multimodal stimuli (visual, auditory, and interoceptive) aimed at modulating dopamine-regulated neural mechanisms. Chronos integrates three modules: Cognify (gamified cognitive tasks), PercepTime (temporal training in immersive environments), and MoodTrack (emotional self-reports). **Results:** interdisciplinary validation demonstrated high acceptance, highlighting engagement, clarity of mechanics, and aesthetic coherence. Participants recognized the clinical potential of the multimodal approach and the relevance of immersive environments for temporal modulation in conditions such as Alzheimer's, Parkinson's disease, and ADHD. **Conclusion:** Chronos demonstrates technical and conceptual feasibility as a non-invasive digital therapeutic solution, offering a scalable and clinically relevant environment for temporal perception rehabilitation. Future studies should focus on assessing clinical efficacy and adaptive personalization based on performance data.

Keywords: Time Perception; Serious Games; Digital Health.

RESUMEN

La percepción temporal suele estar alterada en trastornos neuropsiquiátricos, afectando la atención, las funciones ejecutivas y la autonomía. Este estudio presenta Chronos: Odiseas Alternativas, un juego serio híbrido e inmersivo diseñado para entrenar la percepción temporal mediante enfoques neurobiológicos y psicofisiológicos. **Objetivo:** describir el proceso de co-diseño y los resultados de la validación conceptual del prototipo. **Métodos:** se aplicó una metodología iterativa de co-diseño con profesionales de la salud y de la tecnología. El juego fue desarrollado bajo el paradigma Metaverse as a Service, integrando estímulos multimodales (visuales, auditivos e interoceptivos), orientados a modular mecanismos neurales vinculados a la dopamina. Chronos incluye tres módulos: Cognify, PercepTime y MoodTrack. **Resultados:** la validación interdisciplinaria mostró alta aceptación, destacando compromiso, comprensión de las mecánicas y coherencia estética. Los participantes reconocieron el potencial clínico del enfoque multimodal y la utilidad de entornos inmersivos para el entrenamiento temporal en condiciones como Alzheimer, Parkinson y TDAH. **Conclusión:** Chronos demuestra viabilidad técnica y conceptual como una terapia digital no invasiva y escalable para apoyar la rehabilitación de la percepción temporal. Investigaciones futuras deben evaluar su eficacia clínica y avanzar en estrategias de personalización adaptativa basadas en datos de desempeño. Estos hallazgos respaldan su desarrollo y aplicación futuras.

Descriptores: Percepción del Tiempo; Juegos Serios; Salud Digital.

COMO CITAR ESTE ARTIGO: Pereira LF, Sousa DL, Fontenele JES, Coelho AFVCC, Teixeira SS. Co-Design de um Jogo Sério Multimodal para Treinamento da Percepção Temporal em Distúrbios Neurobiológicos. J Health Inform 2026;18:e1564. doi: https://doi.org/10.59681/2175-4411.v18.2026.1564

1 INTRODUÇÃO

A percepção temporal é um processo cognitivo fundamental, essencial para a estimativa de duração de eventos, a sequenciação e o ritmo das ações [1]. Sua integridade é crucial para o funcionamento executivo e a adaptação ao ambiente. Distúrbios nessa percepção são uma característica proeminente e debilitante em uma vasta gama de condições neuropsiquiátricas e neurológicas, incluindo a Doença de Alzheimer, a Doença de Parkinson e o Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), culminando em um impacto negativo substancial na autonomia e qualidade de vida [2-4]. Nesses pacientes, as alterações na estimativa de tempo estão intrinsecamente ligadas a déficits na memória de trabalho e na atenção [5].

A complexidade da base neurobiológica da percepção temporal reside em sua natureza distribuída, envolvendo uma rede neural que abrange o córtex pré-frontal, os gânglios da base e o cerebelo [6]. O modelo clássico do "relógio interno" postula um sistema de cronometragem modulado por fatores como *arousal* (nível de ativação fisiológica) e atenção, sendo fortemente influenciado pela dopamina [7]. A disfunção dopaminérgica, notadamente em condições como a Doença de Parkinson, pode levar a distorções temporais, como a superestimação da duração de intervalos [8]. Compreender e modular essa rede neural complexa exige o desenvolvimento de ferramentas computacionais avançadas capazes de fornecer estímulos controlados e precisos.

No panorama terapêutico atual, as intervenções farmacológicas raramente visam à percepção temporal diretamente. As abordagens de reabilitação cognitiva existentes, embora cientificamente válidas, enfrentam um desafio crítico para a saúde pública: a baixa adesão do paciente [9]. Devido à sua natureza repetitiva, monótona e desmotivadora, essas terapias tradicionais reduzem o engajamento e a persistência nas sessões. Essa lacuna clínica e metodológica exige o desenvolvimento de soluções de Saúde Digital mais envolventes, escaláveis e tecnologicamente sofisticadas.

Diante dessas limitações, os ambientes virtuais imersivos e os jogos sérios (*serious games*) emergem como uma solução de vanguarda em Informática em Saúde. Eles oferecem a capacidade única de integrar engajamento, motivação e estímulo cognitivo em um formato lúdico, permitindo o treinamento da percepção temporal e a reabilitação das funções cognitivas associadas. Embora mostrem potencial, a evidência de baixa qualidade e os desafios de adesão em protocolos de treino [10] indicam a necessidade de um rigor metodológico e arquitetônico superior no desenvolvimento dessas ferramentas.

Este artigo apresenta o desenvolvimento do "*Chronos: Odisseias Alternativas*", um jogo sério híbrido e imersivo, que se posiciona como uma ferramenta terapêutica digital para treinamento da percepção temporal. Jogos sérios normalmente são relacionados a questionários e *quizzes*, sendo que as respostas corretas oferecem recompensas [11]. O *Chronos* inova ao combinar tarefas cognitivas bidimensionais com uma narrativa envolvente em um ambiente tridimensional, acessível via navegador web e dispositivos de Realidade Virtual (RV). A principal inovação arquitetônica reside na sua concepção sob o paradigma de *Metaverse as a Service* (mAAS), o que confere escalabilidade intrínseca, acessibilidade ampla (telessaúde) e modularidade para futuras integrações.

O desenvolvimento do jogo foi guiado por uma metodologia de *co-design*, envolvendo profissionais da saúde e da computação. Este método garante que a solução não apenas seja tecnologicamente robusta, mas também clinicamente relevante, cientificamente consistente e centrada nas necessidades do usuário final. O objetivo do artigo foi descrever a metodologia de *co-design* e os resultados obtidos, destacando a importância da colaboração interdisciplinar e as escolhas arquitetônicas em Informática em Saúde na criação de inovações tecnológicas que superem as barreiras das terapias tradicionais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do "*Chronos: Odisseias Alternativas*" adotou uma metodologia de *co-design* [12], caracterizada pela participação iterativa e colaborativa de *stakeholders* no processo de criação. O *co-design* foi escolhido para garantir que o produto fosse não apenas tecnologicamente viável, mas também clinicamente relevante e centrado nas necessidades do usuário final, mitigando os riscos de baixa adesão e usabilidade. A equipe de *co-design* foi multidisciplinar, composta por psicólogos, fisioterapeutas, cientistas da computação, desenvolvedores e *game designers*.

Devido à natureza híbrida do *co-design* (presencial e on-line), foi disponibilizado um vídeo compilado apresentando o funcionamento do protótipo, a navegação, as mecânicas das tarefas e sua integração no ambiente imersivo, disponível em: https://drive.google.com/file/d/1oiyAqtxIWxK-7zn5zCBQuPa9SLFk1Ku4/view?usp=sharing. Além de questionários para que os participantes pudessem fornecer sugestões e observações. Os *workshops* foram registrados por fotografias, anotações do mediador e transcrições de trechos dos relatos dos participantes durante os *brainstormings*.

Tabela 1. Matriz C.S.D. do jogo

Certezas (C)	Suposições (S)	Dúvidas (D)
Validação Clínica	Imersão em RV pode influenciar neuroplasticidade temporal.	Como validar clinicamente os resultados?
Mensuração de Impactos	Ambientes de modulação da percepção temporal	É possível mensurar o impacto dessa modulação?
Testes: *Digit Span*, Corsi, *n-back*, OSpan, PANAS	Experiências digitais são potencializadas pela gamificação dos testes	Qual a validade científica dos testes no formato gamificado?
Personagens com funções terapêuticas	Narrativa aumenta retenção e engajamento.	Qual eficácia terapêutica comparado aos métodos tradicionais?
Acessibilidade e Escalabilidade	Hospedagem garante acessibilidade ampla.	A infraestrutura tem capacidade para muitos acessos simultâneos?

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A análise dos dados qualitativos foi realizada por meio de Análise Temática [13], buscando identificar temas recorrentes, pontos críticos e sugestões de melhoria que guiaram as iterações do *design*. A Matriz C.S.D. (Certezas, Suposições e Dúvidas - Tabela 1) foi utilizada para estruturar as discussões e identificar os pontos críticos a serem considerados, especialmente as dúvidas relacionadas à validação clínica e à mensuração de impacto.

2.1 Arquitetura e Componentes do Jogo "Chronos: Odisseias Alternativas"

O "*Chronos*" foi concebido como um jogo sério híbrido e multimodal, fundamentado em modelos neurocognitivos do processamento temporal. Sua arquitetura é um ponto chave de inovação em Informática em Saúde, utilizando o paradigma de mAAS [14]. O mAAS foi escolhido por ser uma solução de telessaúde escalável e de baixo custo de implantação, eliminando a necessidade de *downloads* pesados ou *hardware* dedicado. A acessibilidade via navegador web democratiza o acesso à RV no contexto terapêutico. A modularidade da arquitetura facilita a integração de novos módulos e a interoperabilidade futura conforme pesquisas na área avancem.

A implementação técnica se baseia na plataforma *FrameVR* para o ambiente 3D imersivo (o Metaverse base) e no Pacote HTML5 (H5P), uma estrutura de código aberto baseada em *JavaScript*, utilizada para criar as tarefas cognitivas 2D interativas. A estrutura do jogo é composta por três módulos interconectados, cada um visando um aspecto específico no treinamento da percepção temporal:

1. ***Cognify***: focado no treinamento das funções executivas (memória de trabalho e atenção), conta com tarefas psicométricas gamificadas em formato de minijogos, intimamente ligadas à precisão da percepção temporal.
2. ***PercepTime***: voltado para treinamento da percepção temporal em ambientes imersivos (denominados Superestimador, Subestimador e Neutro) projetados para modular ativamente a percepção subjetiva do tempo, cuja modulação é almejada através da integração controlada de estímulos visuais (taxa de *frames*, luminosidade e velocidade); auditivos (variação no tempo, *pitch* das trilhas e efeitos sonoros); interoceptivos (*feedback* visual e auditivo para guiar a respiração do jogador).
3. ***MoodTrack***: coleta de dados subjetivos de autorrelatos emocionais e de humor, utilizando a escala *Positive and Negative Affect Schedule* (PANAS-20). Projetado para ser utilizado como base para correlacionar o estado emocional do jogador com suas variações de performance de percepção temporal, oferecendo uma abordagem holística ao tratamento.

2.2 Workshops de Co-design

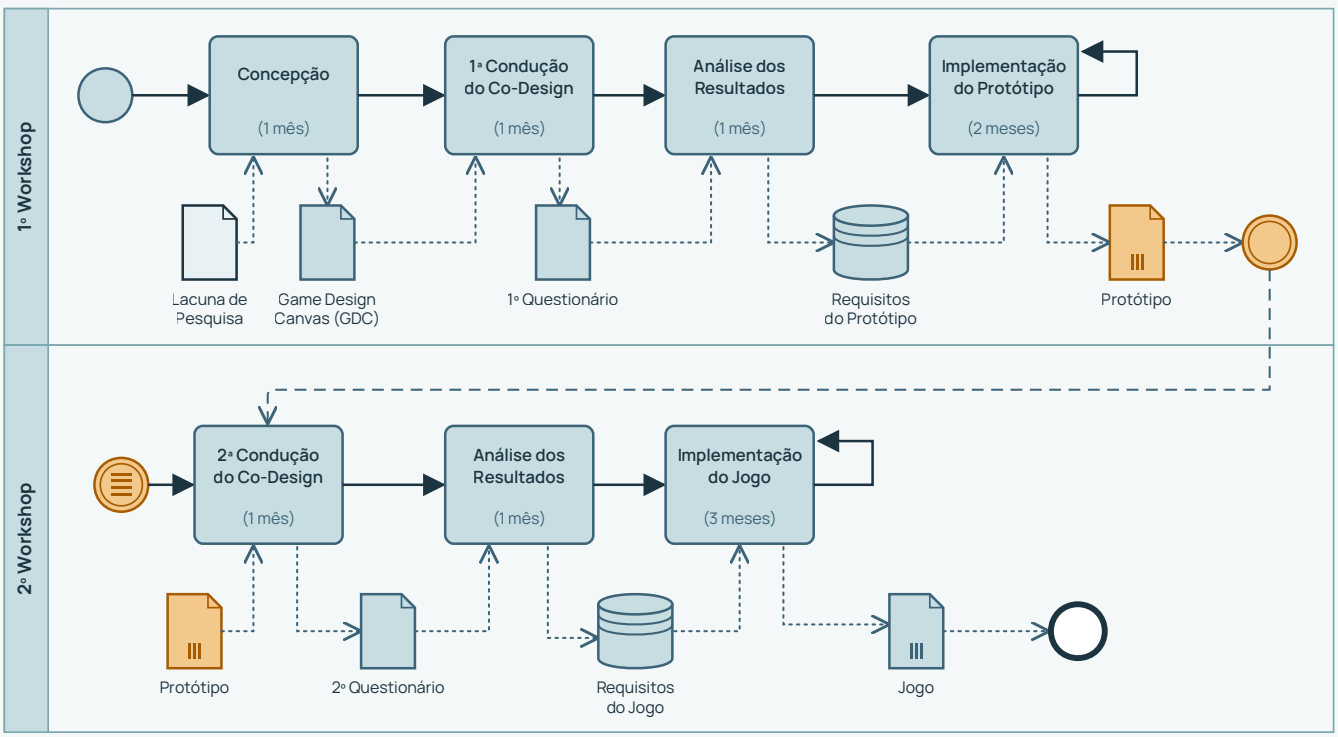
O processo de *co-design* (Figura 1) foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFDPar (registro 6.209.866) e estruturado em dois *workshops*, envolvendo um grupo multidisciplinar de 19 participantes no primeiro e 12 participantes no segundo.

***Workshop* 1 (Conceituação e Requisitos)**: Focado na discussão da Matriz C.S.D. e na definição do *Game Design Canvas* (GDC) inicial. Os participantes, majoritariamente clínicos, validaram o conceito e a aplicabilidade terapêutica.

***Workshop* 2 (Refinamento e Usabilidade)**: Focado na avaliação do protótipo e coleta de *feedback* desde o *design* visual e sonoro até a clareza das instruções. Esta etapa contou com maior participação de profissionais de Tecnologia da Informação (TI), o que propiciou uma viabilidade técnica da arquitetura mAAS e a otimização da experiência do usuário.

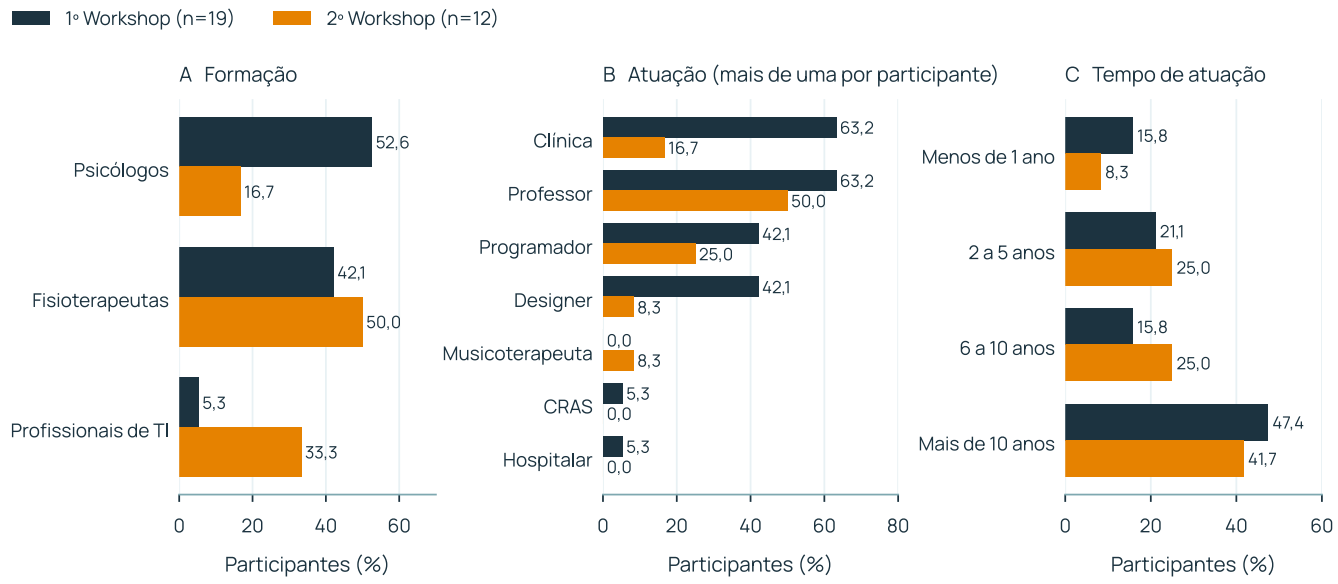
Os dados coletados serviram como base empírica para a análise dos resultados, garantindo o rigor metodológico do estudo. Os questionários utilizados nos *Workshops* 1 e 2 encontram-se apresentados nos Apêndices A e B, respectivamente.

Figura 1. Fluxograma do Co-design



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 2. Perfil dos Participantes do Co-Design



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados da Validação Conceitual e Interdisciplinar

O processo de *co-design* do "*Chronos*" resultou em uma validação conceitual robusta e uma ampla aceitação interdisciplinar, elementos cruciais para a translação de uma inovação tecnológica para a prática clínica. A metodologia empregada não apenas coletou *feedback*, mas serviu como um mecanismo de validação de rigor que alinhou a arquitetura tecnológica com as necessidades terapêuticas.

O grupo contou com uma distribuição equilibrada entre especialistas clínicos (psicólogos e fisioterapeutas, >50%) e profissionais de TI (cientistas da computação, desenvolvedores e *game designers*). A experiência profissional diversificada (com >40% dos participantes com mais de 10 anos de atuação) conferiu profundidade e criticidade ao processo (Figura 2).

Figura 3. Avatares das personas no jogo



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Ao final do processo, as principais personas do jogo foram definidas (Figura 3). Essas *personas* foram utilizadas como base para a criação de cada personagem no jogo, garantindo interações coerentes e narrativas ricas. Foram elaboradas bases específicas para os personagens *Noah*, *Erya*, *SIG*, *Chronos* e *Dr. Silmax*, além de uma Base de Conhecimento Global que unifica conceitos centrais sobre tempo, espaço, artefatos temporais, paradoxos e eventos históricos críticos, acessível a todos os agentes e interpretada de acordo com suas personalidades e funções dentro do jogo, viabilizados através da plataforma *FrameVR* como uma camada funcional de interação narrativa e suporte contextual.

A persona de *Noah* (protagonista) foi construída a partir de uma base de conhecimento que define suas motivações, emoções e evolução intelectual ao longo da narrativa, assegurando coerência entre falas, comportamentos e progressão da história. A mentora *Erya*, especialista em tecnologia temporal, possui uma base de conhecimento específica voltada ao suporte técnico e estratégico das missões, oferecendo orientações didáticas e instruções contextuais. Essa estrutura narrativa conecta o universo do jogo aos objetivos terapêuticos, garantindo clareza, acessibilidade e alinhamento com as tarefas cognitivas.

O *Dr. Silmax* (antagonista) possui uma base de conhecimento orientada a estratégias, diálogos e justificativas narrativas, atuando como um personagem com motivações claras e interações e argumentos que intensificam a tensão e impulsionam o enredo. A entidade *Chronos*, guardiã das leis temporais, detém profundo conhecimento dos eventos, das mecânicas do jogo e de seus artefatos, antecipando os efeitos das alterações no tempo. Além disso, orienta o jogador nas missões e coordena os saltos temporais da *Chronos Starship*, funcionando como mentor estratégico e eixo central da narrativa.

O SIG, Sistema Intergaláctico de Geolocalização (Figura 4), foi desenvolvido para orientar a navegação e o progresso do jogador durante as missões. Sua base de conhecimento integra mapeamento dos ambientes, respostas contextuais e comentários interativos, combinando funcionalidade e narrativa para ampliar a imersão. Atuando como assistente virtual, ele fornece instruções claras antes das tarefas cognitivas e de percepção temporal, conectando a ambientação *sci-fi* aos instrumentos neuropsicológicos gamificados e preparando o jogador para os desafios de forma engajadora e contextualizada.

A Figura 4 apresenta o dispositivo de pulso utilizado para comunicação, instruções e monitoramento da saúde no contexto do jogo, integrando assim uma função avaliativa e narrativa. O dispositivo conecta o jogador às missões externas, aos mentores e à IA da nave, simbolizando a integração entre avaliação cognitiva, narrativa interativa e tomada de decisão. A figura também ilustra a interface de conclusão de missão, na qual o jogador recebe um cristal como recompensa, reforçando a progressão, o reconhecimento e o engajamento contínuo por meio de reforço positivo e continuidade narrativa.

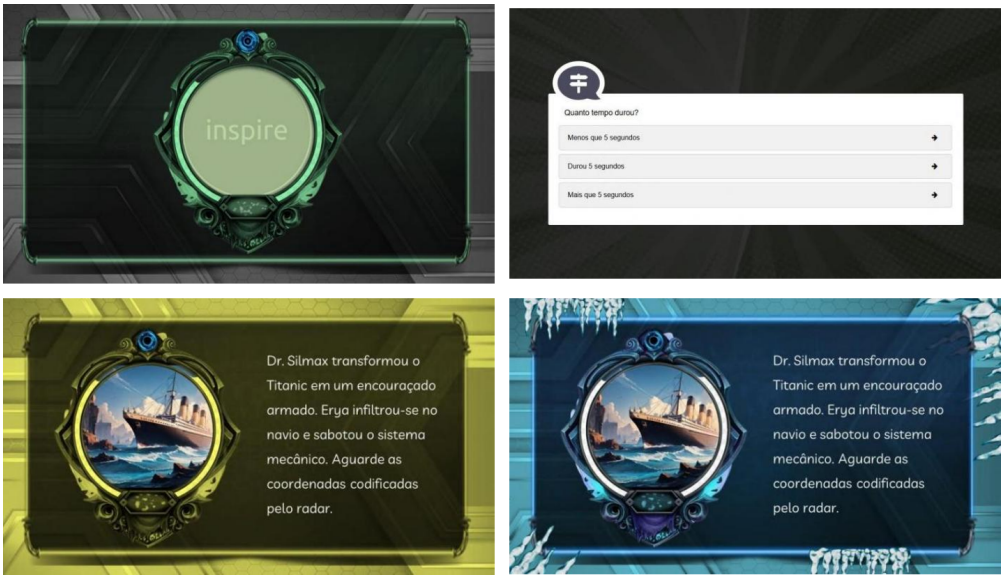
A Figura 5 ilustra a preparação interoceptiva conduzida pelo SIG antes das tarefas de percepção temporal, por meio de um exercício de respiração consciente indicado pela palavra “inspire”, promovendo autorregulação emocional, foco atencional e consciência corporal. Essa etapa integra narrativa e práticas de saúde mental no fluxo do jogo. A figura também apresenta a bifurcação narrativa baseada na precisão da estimativa temporal do jogador, classificando-o como estimador preciso, superestimador ou subestimador. Essa classificação aciona

Figura 4. Interfaces do SIG



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 5. Condução de interocepção, Ponto de Ignição e Ambientes do jogo



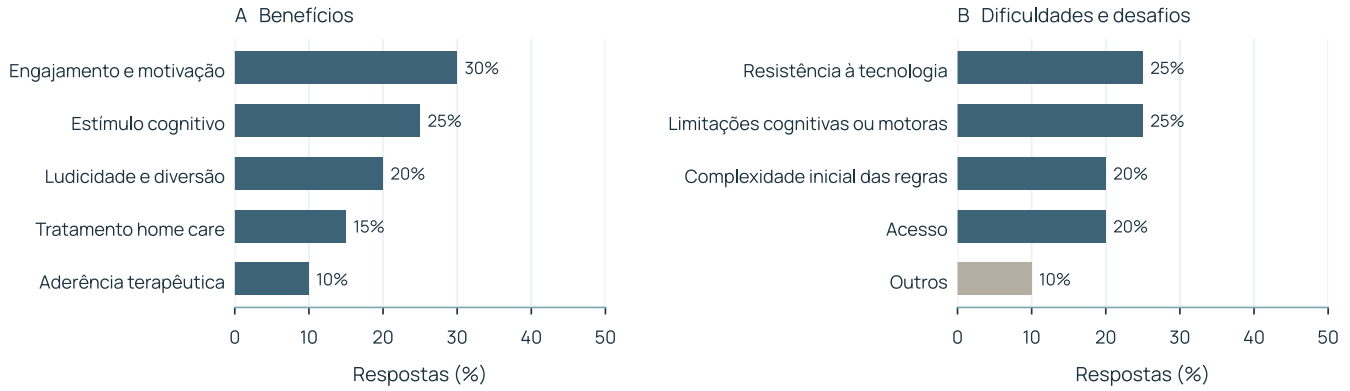
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

transições entre estados narrativos distintos, controladas por um Autômato Finito Determinístico (AFD), ativando cenários com estímulos visuais, sonoros e interoceptivos específicos para modular os sistemas simpático e parassimpático.

A validação conceitual do "*Chronos*" foi unânime, sendo reconhecido como uma alternativa promissora às terapias tradicionais e uma solução viável de Saúde Digital. Os principais benefícios (alto engajamento, motivação e estímulo cognitivo) destacados pelos participantes (Figura 6) validam a escolha do formato de jogo sério como um vetor de adesão.

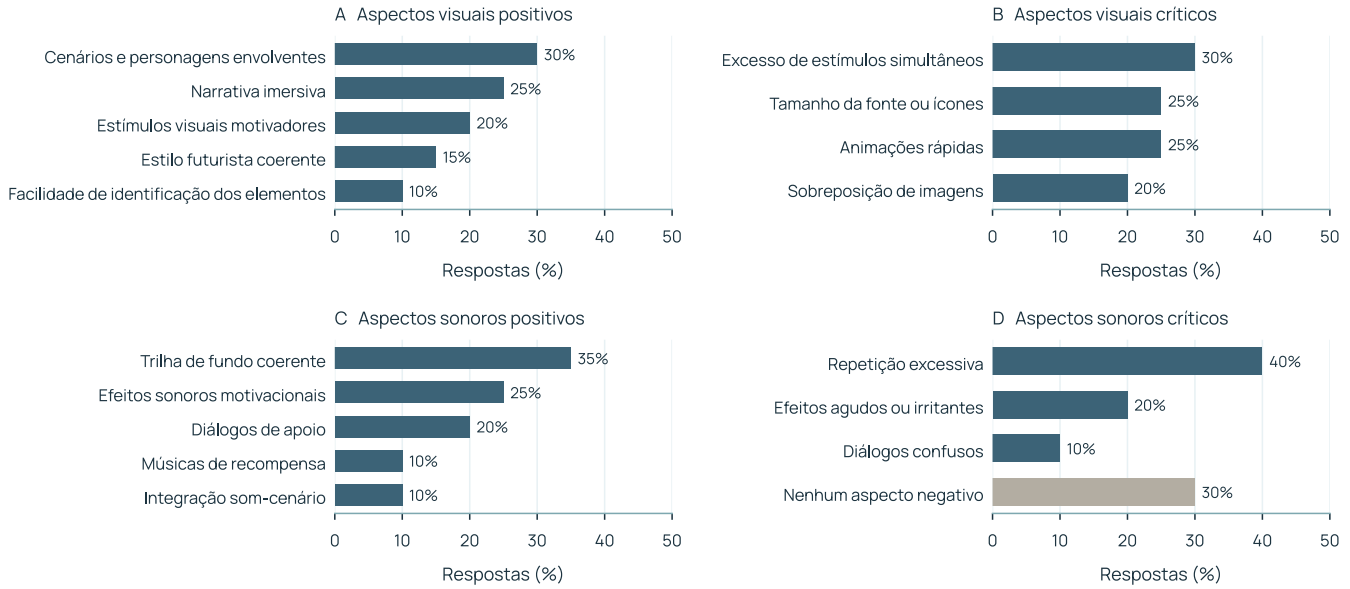
O uso de recompensas (30%), o potencial lúdico (20%) de narrativas alternativas por meio da ramificação de cenários e o *design* visual coerente foram apontados como fatores importantes para manter o interesse e aumentar a adesão dos pacientes, superando a baixa motivação das tarefas de reabilitação tradicionais. As dificuldades relatadas, como a resistência à tecnologia (particularmente entre os mais velhos) e as limitações cognitivas/motoras (25%), não são falhas do jogo, mas sim requisitos de *design* que devem ser incorporados. O "*Chronos*", portanto, passará por refinamentos para inclusão de estratégias de acessibilidade temporal e instruções personalizáveis, garantindo que o rigor da pesquisa se traduza em uma solução verdadeiramente

Figura 6. Benefícios, dificuldades e desafios



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 7. Aspectos visuais e sonoros



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

inclusiva.

3.2 O Co-design como Estratégia de Mitigação de Risco em Informática em Saúde

O *co-design*, com a participação ativa de profissionais de TI no *Workshop* 2, não deve ser visto apenas como um processo de coleta de requisitos, mas como uma estratégia de mitigação de risco. Ao integrar especialistas em computação e *game design* desde as fases iniciais, o processo garantiu que a solução atendesse aos requisitos clínicos, evitando o desenvolvimento de um produto tecnicamente robusto, mas clinicamente irrelevante.

A Matriz C.S.D. (Tabela 1) revelou dúvidas críticas sobre a mensuração de impacto e a escalabilidade. O *co-design* respondeu a essas dúvidas ao sugerir a inclusão do módulo MoodTrack (para coleta de dados) e ao validar a escolha do paradigma mAAS.

3.3 Validação da Abordagem Multimodal e Rigor Neurobiológico

A multimodalidade do "*Chronos*" (integração de estímulos visuais, auditivos e interoceptivos) foi vista como o principal diferencial inovador. Esta abordagem está em estrita consonância com o modelo neurobiológico da percepção temporal [7,8], que postula a modulação do "relógio interno" por fatores como estado de ativação e atenção.

Estímulos Visuais e Auditivos: A manipulação controlada de *frames*, velocidade de movimento, *pitch* e tempo na trilha sonora atua diretamente como um modulador exógeno da percepção temporal. Ao projetar ambientes (Superestimador e Subestimador) para induzir distorções temporais controladas, o jogo oferece um mecanismo de treinamento adaptativo para recalibrar o sistema de cronometragem neural.

Estímulos Interoceptivos: O uso da respiração guiada representa um rigor clínico ao integrar a regulação autonômica. A modulação do estado de ativação (via

Tabela 2. Mapeamento dos ajustes

Ajuste Realizado	Seção do Jogo	Impacto Esperado
Simplificação da interface e redução de elementos visuais complexos	Cognify e PercepTime	Melhoria na usabilidade para usuários com declínio cognitivo e redução da carga cognitiva
Inclusão de tutoriais interativos e *pop-ups* explicativos	Todas as tarefas	Aumento da clareza das instruções e melhoria na adesão
Otimização da performance do ambiente 3D	FrameVR/Ambiente Imersivo	Redução de latência e melhoria na Qualidade de Experiência
Refinamento da trilha sonora para melhor modulação do estado de ativação	PercepTime (Ambientes)	Otimização dos estímulos multimodais na percepção temporal

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

respiração) é um fator endógeno conhecido por influenciar a velocidade do oscilador dopaminérgico, permitindo uma abordagem holística que transcende o mero treinamento cognitivo.

3.4 Análise Crítica dos Aspectos Visuais e Sonoros

O *feedback* detalhado sobre os aspectos visuais e sonoros (Figura 7) forneceu dados cruciais para o refinamento do protótipo, demonstrando o rigor do *design* centrado no usuário. Os estímulos visuais motivadores (20%) e o estilo futurista coerente (15%) demonstram a importância de recursos gráficos atrativos aliados a uma estética uniforme. A presença de cores estimulantes também foi citada, reforçando o papel do *design* visual como recurso motivador. Por fim, a facilidade de identificação dos elementos (10%) aponta para a necessidade de clareza na interface, assegurando que o jogador compreenda rapidamente os objetos e interações disponíveis, indicando que o equilíbrio entre estética e funcionalidade terapêutica é um ponto forte a ser considerado.

Aspectos Positivos

A coerência estética, a narrativa imersiva e os sons motivacionais foram amplamente elogiados. A trilha de fundo coerente (35%) e os cenários envolventes (30%) reforçam a importância da ambientação para a imersão, que é um pré-requisito para a eficácia terapêutica em jogos sérios. O áudio foi apontado como um ponto forte, principalmente pelo suporte ao engajamento que conta com sons motivacionais e diálogos claros que reforçam a sensação de progresso e conexão emocional com a narrativa.

Os efeitos sonoros motivacionais (25%) reforçam a associação entre estímulos auditivos e respostas comportamentais, funcionando como reforçadores imediatos durante as tarefas. Os diálogos de apoio (20%) emergem como elementos facilitadores do engajamento, atuando no direcionamento das ações e na manutenção da atenção sustentada. Já as músicas de recompensa (10%) contribuem para o fortalecimento de mecanismos de retroalimentação positiva, enquanto a integração entre som e cenário (10%) destaca a importância da coerência multimodal na redução de sobrecarga cognitiva. Assim, a análise desses resultados sugere que os elementos visuais e sonoros não apenas intensificam a experiência imersiva, mas também possuem potencial para modular estados afetivos e cognitivos, contribuindo diretamente para os objetivos terapêuticos do "*Chronos*".

Aspectos Críticos

A principal crítica foi o excesso de estímulos simultâneos (30%), seguido por problemas de usabilidade como tamanho de fonte/ícones (25%) e animações rápidas (25%). Estes achados são vitais, pois o excesso de estímulos pode levar à sobrecarga sensorial, o que é contraproducente para pacientes com déficits de atenção (como TDAH ou Parkinson). A sobreposição de imagens (20%) também foi destacada como fator de distração, reforçando a importância de ajustes no *design* visual para garantir melhor legibilidade e foco no conteúdo essencial. O rigor tecnológico exige que a arquitetura mAAS seja utilizada para permitir a personalização da interface, reduzindo a complexidade visual e sonora para subgrupos de pacientes com maior sensibilidade.

A repetição excessiva de sons (40%) foi o problema mais reportado, indicando a necessidade de variar trilhas e efeitos para evitar monotonia ou fadiga auditiva. Os efeitos agudos ou irritantes (20%) podem comprometer a experiência, ressaltando a importância de realizar um balanceamento de intensidade e frequência dos sons. Diálogos confusos (10%) surgiram como barreira à compreensão. Esses resultados apontam que esses ajustes serão essenciais para otimizar a fluidez e minimizar sobrecarga cognitiva, mantendo o potencial imersivo do jogo.

3.5 Refinamento do Protótipo e Ajustes Iterativos

O processo iterativo de *co-design* favoreceu a identificação de pontos de melhoria; entre os aspectos, foram apontadas questões relacionadas à acessibilidade e à clareza das instruções das tarefas. A Tabela 2 resume o mapeamento dos ajustes realizados no protótipo após os *workshops* e o impacto esperado.

A análise evidenciou que a colaboração entre o conhecimento clínico e o tecnológico resultou em um produto funcional, motivador e cientificamente fundamentado. O *feedback* dos clínicos foi essencial para garantir que as tarefas gamificadas mantivessem a validade psicométrica, enquanto a contribuição dos

profissionais de TI assegurou a viabilidade técnica e a otimização da experiência do usuário. Na Tabela 3, estão descritas algumas dessas opiniões.

Tabela 3. Recorte de trechos transcritos

ID	Transcrição
1	Fiquei impressionado com o progresso desde a versão anterior. A qualidade dos traços da imagem e a orientação sobre o jogo e seus objetivos foi impressionante.
2	Seria interessante apresentar um mapa desde o início com as fases e objetivos resumidos. Muitas vezes, o paciente não entenderá termos como estimativa de tempo ou produção.
3	Às vezes havia muita informação nas transições, como na tela com a bandeira do Brasil. Achei a fase dos cristais muito envolvente, lembrei do Sonic também tinha fases com cristais.
4	Pacientes desatentos podem ter dificuldade com certos estímulos visuais, dificultando o alcance dos objetivos da fase. Talvez neutralizar as cores e destacar mais o caminho ajude.
5	É importante informar ao participante que ele não deve contar o tempo mentalmente. Algo introdutório antes da tela inicial poderia focar na memória visual, operacional e executiva.
6	Acho que é preciso revisitar o design de alguns personagens. Alguns estão muito infantilizados; seria bom padronizar mais. Por exemplo, os mentores têm um tom sério que destoa dos demais.
7	Veja a luminosidade, cores mais escuras tornam o jogo visualmente mais bonito.
8	Personagens diferentes fazem sentido. O jogador principal evolui e isso deve se refletir nos personagens.
9	Cenários diferentes são interessantes. Gostei da ideia de ter florestas no Brasil, isso diferencia estrategicamente as fases.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.6 Análise Comparativa com outros Estudos

A validação conceitual e interdisciplinar do jogo "*Chronos: Odisseias Alternativas*" se alinha às evidências da literatura que apontam o potencial de tecnologias imersivas para aprimorar funções cognitivas e perceptuais. Estudos recentes mostram que intervenções baseadas em RV apresentam eficácia superior a métodos tradicionais de reabilitação, especialmente quando utilizam estímulos sensoriais integrados e ambientes altamente controláveis [15]. Nesse sentido, o "*Chronos*" se diferencia por adotar não apenas imersão visual, mas uma abordagem multimodal que incorpora estímulos auditivos e interoceptivos, estratégia coerente com o modelo neurobiológico do "relógio interno" descrito por Treisman [7] e aprofundado por estudos sobre modulação dopaminérgica [8].

A literatura destaca que a percepção temporal depende de redes neurais distribuídas, especialmente envolvendo córtex pré-frontal, gânglios da base e cerebelo [6]. Jogos que apenas medem o tempo, como os apresentados em "*The Timing Game*" [16], não exploram esses sistemas de maneira ativa. Diferentemente, o "*Chronos*" cria ambientes projetados para induzir mudanças controladas na percepção temporal, aproximando-se de intervenções psicofisiológicas que modulam o estado autonômico do jogador. Esse uso de estímulos interoceptivos (respiração guiada) ainda é pouco explorado em jogos sérios, mas dialoga com evidências de que a regulação autonômica influencia diretamente o estado de *arousal* e, consequentemente, a velocidade do oscilador interno responsável pela cronometria neural [5-8].

Do ponto de vista metodológico, o uso de *co-design* também encontra apoio consistente na literatura sobre inovação em Saúde Digital. Estudos ressaltam que o envolvimento de clínicos e especialistas em tecnologia desde as fases iniciais reduz falhas de adoção, aumenta a relevância clínica e melhora a usabilidade dos produtos finais [12]. No caso do "*Chronos*", os *workshops* revelaram criticidade suficiente para orientar refinamentos, especialmente em acessibilidade e estímulos visuais/sonoros, o que reforça a importância do processo interativo e iterativo, prática que tem sido recomendada em revisões de desenvolvimento de *serious games* para saúde [10]. A adoção da Análise Temática [13] como base analítica ampliou o rigor e permitiu que os *feedbacks* fossem incorporados ao processo de *design* participativo.

Outra contribuição diferenciada é sua arquitetura em mAAS, que aproxima o jogo de modelos modernos de telessaúde escalável. Pesquisas recentes sinalizam que o futuro das intervenções digitais passa pela distribuição em ambientes modulares, interoperáveis e responsivos, permitindo personalização de protocolos e coleta contínua de dados [14]. Ao ser executado diretamente no navegador e integrar módulos cognitivos 2D com ambientes 3D imersivos, o "*Chronos*" supera limitações frequentemente citadas em revisões de RV terapêutica, como custo elevado, necessidade de *hardware* dedicado e barreiras de acesso geográfico [15-17].

Além disso, a literatura aponta que o sucesso das terapias digitais depende fortemente do engajamento e da motivação do paciente, fatores que estão entre os principais desafios de intervenções tradicionais [9]. Os resultados obtidos nos *workshops* reforçam que elementos narrativos, estética coerente e recompensas dinâmicas atuam como reforçadores comportamentais, aumentando o potencial de adesão. Esses achados corroboram meta-análises que mostram que narrativas significativas e *feedback* multimodal aumentam a retenção e a participação em jogos sérios voltados à reabilitação cognitiva [10]. A inclusão de personagens como *Dr. Silmax*, *Erya*, *SIG* e *Noah* não apenas melhora o engajamento, mas também facilita a compreensão das tarefas, aspecto que a literatura relaciona diretamente com maior eficácia terapêutica.

Em síntese, os resultados obtidos dialogam fortemente com as evidências contemporâneas sobre jogos sérios, percepção temporal e RV terapêutica, reforçando que o "*Chronos*" se posiciona como uma inovação metodoló-

gica e tecnológica que vai além da mensuração ou simples treinamento temporal. Ele integra princípios neurobiológicos, narrativa imersiva, modulação autonômica e uma arquitetura escalável, compondo uma abordagem híbrida que atende às lacunas apontadas por estudos de reabilitação digital.

4 CONCLUSÕES

O *"Chronos: Odisseias Alternativas"* demonstra viabilidade técnica e metodológica como um ambiente digital multimodal e não invasivo para telessaúde. A arquitetura mAAS garante escalabilidade e acessibilidade, posicionando-o como uma solução de Saúde Digital de vanguarda. O rigor reside na abordagem multimodal baseada em princípios neurobiológicos, com a inovação da exploração da interocepção na modulação temporal. Essa abordagem psicofisiológica abre novas perspectivas para intervenções não invasivas e para a compreensão da interconexão entre corpo, mente e tempo. A validação conceitual junto aos clínicos, aliada à análise crítica dos *feedbacks*, confirma o potencial do jogo.

A principal limitação é a ausência de dados de eficácia clínica, cujos próximos passos serão cruciais para sua consolidação como uma ferramenta de Saúde Digital baseada em evidências, que inclui um teste com grupo focal para validar a eficácia terapêutica e a usabilidade em longo prazo além da utilização dos dados coletados e registros de desempenho do jogador para realização de uma análise preditiva e personalização do tratamento. Este *analytics* não só otimizará a modulação da percepção temporal, mas demonstrará o valor do "*Chronos*" como uma ferramenta terapêutica auxiliar no treinamento da percepção temporal, contribuindo para o avanço das intervenções digitais em neurociência aplicada.

Contribuição dos autores. Os autores contribuíram igualmente em todas as etapas de construção do artigo: concepção e delineamento do estudo; coleta, análise e interpretação dos dados; redação e revisão crítica do manuscrito; e aprovação da versão final.

Agradecimentos. Ao PPGBIOTec da UFDPar pelo apoio institucional, ao sistema FAPEPI/CAPES pelo suporte financeiro e à equipe do NITLab e voluntários pela participação nos workshops.

Financiamento. Sistema FAPEPI/CAPES, conforme o suporte financeiro declarado pelos autores nos agradecimentos.

Disponibilidade de dados e materiais. Os autores não declararam a disponibilidade dos dados e materiais da pesquisa.

Conflitos de interesse. Os autores não declararam conflitos de interesse.

Declaração de uso de IA. Os autores não declararam uso de ferramentas de Inteligência Artificial.

REFERÊNCIAS

1. Grondin S. Timing and time perception: a review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. Atten Percept Psychophys. 2010;72(3):561-82. doi: https://doi.org/10.3758/APP.72.3.561
2. El Haj M, Kapogiannis D. Time distortions in Alzheimer's disease: a systematic review and theoretical integration. NPJ Aging Mech Dis. 2016;2:16016. doi: https://doi.org/10.1038/npjamd.2016.16
3. Fox SH, Katzenschlager R, Lim SY, Barton B, de Bie RMA, Seppi K, et al. International Parkinson and movement disorder society evidence-based medicine review: update on treatments for the motor symptoms of Parkinson's disease. Mov Disord. 2018;33(8):1248-66. doi: https://doi.org/10.1002/mds.27372
4. Toplak ME, Rucklidge JJ, Hetherington R, John SC, Tannock R. Time perception deficits in attention-deficit/hyperactivity disorder and comorbid reading difficulties in child and adolescent samples. J Child Psychol Psychiatry. 2003;44(6):888-903. doi: https://doi.org/10.1111/1469-7610.00173
5. Buhusi CV, Meck WH. What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. Nat Rev Neurosci. 2005;6(10):755-65. doi: https://doi.org/10.1038/nrn1764
6. Coull JT, Cheng RK, Meck WH. Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing. Neuropsychopharmacology. 2011;36(1):3-25. doi: https://doi.org/10.1038/npp.2010.113
7. Treisman M. Temporal discrimination and the indifference interval: implications for a model of the "internal clock". Psychol Monogr. 1963;77(13):1-31. doi: https://doi.org/10.1037/h0093864
8. Fung BJ, Sutlief E, Hussain Shuler MG. Dopamine and the interdependency of time perception and reward. Neurosci Biobehav Rev. 2021;125:380-91. doi: https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.02.030
9. Cepeda-Pineda D, Sequeda G, Carrillo-Sierra SM, Silvera-Cruz K, Redondo-Chamorro J, Rozo-Sánchez A, et al. Clinical effectiveness of treatments for mild cognitive impairment in adults: a systematic review. Eur J Investig Health Psychol Educ. 2025;15(11):226. doi: https://doi.org/10.3390/ejihpe15110226
10. Abd-Alrazaq A, Alajlani M, Alhuwail D, Toro CT, Giannicchi A, Ahmed A, et al. The effectiveness and safety of serious games for improving cognitive abilities among elderly people with cognitive impairment: systematic review and meta-analysis. JMIR Serious Games. 2022;10(1):e34592. doi: https://doi.org/10.2196/34592

11. Gustmann K, Figueirêdo MM, Cano MD, Queiroz JEA. Jogos sérios como ferramenta de capacitação da Atenção Primária. J Health Inform. 2024;16(Esp). doi: https://doi.org/10.59681/2175-4411.v16.iespecial.2024.1265

12. Sanders EBN, Stappers PJ. Co-creation and the new landscapes of design. CoDesign. 2008;4(1):5-18. doi: https://doi.org/10.1080/15710880701875068

13. Braun V, Clarke V. Using thematic analysis in psychology. Qual Res Psychol. 2006;3(2):77-101. doi: https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

14. Liu YJ, Du H, Niyato D, Feng G, Kang J, Xiong Z. Slicing4Meta: an intelligent integration architecture with multi-dimensional network resources for metaverse-as-a-service in Web 3.0. IEEE Commun Mag. 2023;61(8):20-6. doi: https://doi.org/10.1109/MCOM.001.2200348

15. Du Q, Wei Y, Ma Y, Liu C, Du S, Zhang Q, et al. Efficacy of virtual reality-based interventions on cognitive function in patients with neuropsychiatric disorders: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. JMIR Serious Games. 2025;13:e67501. doi: https://doi.org/10.2196/67501

16. Teixeira AF, Gois JP, Brandão AL. Timing Game: development of a game for temporal perception research. In: Anais Estendidos do XXIV Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames 2025). Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação; 2025. p. 324-30. doi: https://doi.org/10.5753/sbgames_estendido.2025.11367

17. Yuan P, Chen J, Peng D, Yang Q, Liu B, Lu C. Effectiveness of VR-based cognitive training and games on cognitive rehabilitation in patients with MCI: a systematic review and meta-analysis. Front Neurol. 2025;16:1691344. doi: https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1691344

NOTAS EDITORIAIS

O Journal of Health Informatics é uma publicação científica mantida pela Sociedade Brasileira de Informática em Saúde, associação científica sem fins lucrativos dedicada ao desenvolvimento da Informática em Saúde e da Saúde Digital no Brasil. O processo editorial é conduzido com independência científica, sem interferência institucional, comercial ou de patrocinadores, e segue as boas práticas internacionais de ética em publicação científica.

Este artigo foi avaliado por pares, em sistema duplo-cego, por especialistas da área. A equipe editorial usou ferramentas de inteligência artificial, com supervisão humana, na triagem inicial, na conferência do texto, das referências e dos números e, quando necessário, no redesenho de figuras, quadros e tabelas, aprovado pelos autores na prova. As ferramentas e as salvaguardas estão na Política de uso de inteligência artificial da revista. As decisões editoriais foram tomadas por pessoas.

SBIS Sociedade Brasileira de Informática em Saúde