Esta obra está sob o direito de Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

DIRETRIZES DE DESIGN DE INTERAÇÃO CORPORIFICADA E VALIDAÇÃO DE USABILIDADE DO SERIOUS GAME LUDS

Maria Goretti Fernandes[1]

Michell Angelo Santos Lima[2]

Izabela Souza da Silva[3]

RESUMO

O avanço tecnológico na área de saúde vem transformando a reabilitação motora e cognitiva. Este estudo descreve o processo de criação, desenvolvimento e validação de usabilidade da versão 1.8 do serious game LUDS, um jogo sério projetado como coadjuvante terapêutico na recuperação funcional de pacientes neuromotores. O problema de pesquisa centra-se na superação das limitações dos jogos comerciais, que frequentemente estimulam movimentos compensatórios deletérios. Metodologicamente, a pesquisa ampara-se no framework da Design Science Research e do método Action Design Research, utilizando o sensor Kinect® e a engine Unity 3D para rastrear até vinte pontos de articulação do esqueleto tridimensional em tempo real. Para avaliar a usabilidade e qualidade técnica do sistema, realizou-se uma avaliação heurística colaborativa e testes práticos com trinta estudantes voluntários de fisioterapia da Universidade Federal do Paraná, com duração de trinta minutos por avaliador. A análise utilizou as dez heurísticas de Pinelle para jogos eletrônicos e a escala de severidade de problemas de usabilidade de Nielsen. Os resultados demonstraram que o LUDS apresenta alta versatilidade clínica através de seus seis minijogos adaptáveis, sendo que apenas 13,3% das falhas apontadas pelos avaliadores foram classificadas como severas, sendo a ampla maioria de natureza cosmética ou de fácil resolução. Conclui-se que o LUDS se constitui como uma ferramenta coadjuvante robusta, inovadora e motivadora, integrando dados quantitativos precisos e escalas clínicas ativas que potencializam a prática fisioterapêutica convencional e fomentam o engajamento ativo dos pacientes em seu processo reabilitador.

Palavras-chave: Serious Games. Design de Interação. Reabilitação Física. Usabilidade

[1] gorettifernandes@ufpr.br
[2] michell.ufs@gmail.com
[3] izabellapsi100@gmail.com

INTRODUÇÃO

A integração de ambientes virtuais interativos no contexto da saúde representa uma das mais significativas fronteiras de inovação do século XXI. Nos últimos anos, o avanço tecnológico acelerado transformou a prestação de serviços médicos e reabilitadores, propiciando o desenvolvimento de novas metodologias terapêuticas que utilizam a Realidade Virtual (RV) e sistemas de captura de movimentos sem contato físico (CHANG; LANGE; ZHANG, 2012). Tradicionalmente, as abordagens de fisioterapia e terapia ocupacional fundamentam-se em protocolos repetitivos, frequentemente percebidos pelos pacientes como monótonos e desmotivadores. Esse fator reduz sensivelmente a adesão ao tratamento a longo prazo, comprometendo a velocidade e a qualidade da recuperação funcional das funções corporais afetadas por lesões ortopédicas ou afecções neuromotoras (POMPEU *et al.*, 2014).

Diante desse cenário de resistência aos tratamentos conservadores convencionais, os *serious games* (jogos sérios) emergem como alternativas viáveis de alto valor biopsicossocial. Diferente dos jogos puramente comerciais voltados exclusivamente ao entretenimento, os *serious games* são desenvolvidos com propósitos pedagógicos, educacionais e clínicos bem delineados, visando treinar, reabilitar e engajar o usuário através de dinâmicas lúdicas (MUBIN *et al*., 2020). No campo da reabilitação neuromotora, essa modalidade ganha relevância na literatura médica por atuar na neuroplasticidade e no recrutamento de vias motoras por meio de exercícios individualizados e integrados em cenários virtuais dinâmicos (MA; PROFFITT; SKUBIC, 2018).

Entretanto, a utilização clínica de sistemas interativos baseados em movimento enfrenta um obstáculo técnico e terapêutico crítico. A maioria dos jogos comerciais e *exergames* genéricos que utilizam sensores de movimento não discrimina a biomecânica da execução dos exercícios. Consequentemente, para atingir o objetivo lúdico proposto pelo jogo, os pacientes tendem a realizar movimentos compensatórios deletérios – utilizando articulações saudáveis ou padrões de postura incorretos para compensar o membro debilitado (LIMA *et al*., 2023). Na prática fisioterapêutica, esses desvios de compensação motora de reabilitação representam um grave risco de novas lesões ou fixação de padrões patológicos, invalidando o potencial terapêutico do jogo eletrônico (FERREIRA; MENEZES, 2020). Portanto, torna-se imprescindível que o design de *serious games* voltados à saúde seja estruturado sob o controle e

parametrização estrita de fisioterapeutas, garantindo que o movimento capturado reflita as metas de amplitude de movimento (ADM), força, equilíbrio e coordenação de forma biomecanicamente correta.

A plataforma LUDS (acrônimo voltado a associar o lúdico com a reabilitação em saúde) surge justamente para preencher essa lacuna tecnológica e metodológica na fisioterapia. O projeto, idealizado a partir do desejo de auxiliar na reabilitação motora infantil e neurológica, foi desenvolvido por uma equipe multidisciplinar. Foi utilizando um sensor *Microsoft Kinect*® acoplado a um computador com sistema operacional Windows e desenvolvido na *engine Unity* 3D, o LUDS cria um esqueleto tridimensional ativo do paciente, capturando até vinte articulações e eliminando o uso de controles manuais físicos através de uma interface de usuário natural (NUI) (LIMA et al., 2023).

A relevância científica de se avaliar a usabilidade e qualidade técnica da plataforma LUDS justifica-se pela urgente necessidade de validar as tecnologias digitais introduzidas na área da reabilitação antes de sua ampla adoção clínica. Sem uma interface acessível, fácil de gerenciar e com resposta temporal imediata, o recurso lúdico torna-se um vetor de frustração, tanto para o terapeuta quanto para o paciente. Dessa forma, a questão central que orienta esta pesquisa reside na análise de usabilidade da interface e funcionalidade da versão 1.8 do *serious game* LUDS, sob a perspectiva de futuros profissionais da saúde.

O presente artigo tem como objetivo geral descrever de forma qualitativa os resultados dos testes de usabilidade e avaliação heurística colaborativa, conduzidos com um grupo de quarenta estudantes de fisioterapia da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Busca-se com isso identificar as fragilidades da interface, mapear a severidade de falhas e propor diretrizes refinadas de design de interação corporificada soma-estética para subsidiar o desenvolvimento de futuros *serious games* de reabilitação com alta eficácia clínica.

MÉTODOLOGIA

A escolha metodológica adotada no presente estudo ampara o desenvolvimento do LUDS e baseia-se na Design Science Research (DSR). A DSR é uma abordagem voltada para a criação de soluções práticas e inovadoras para problemas reais e complexos do mundo real por meio da construção e avaliação iterativa de artefatos de design, tais como modelos, métodos, diretrizes e softwares (HEVNER; CHATTERJEE, 2010). No contexto do LUDS, a DSR fornece o arcabouço rigoroso para a geração de conhecimento de design que une os mundos acadêmico clínico e

prático de desenvolvimento de tecnologia em saúde.

Empregou-se o método de *Action Design Research* (ADR). O ADR combina os princípios da pesquisa-ação com a DSR, enfatizando que o desenvolvimento do artefato tecnológico e sua avaliação prática ocorrem simultaneamente através de ciclos iterativos de intervenção e colaboração em campo (SEIN *et al*., 2011). O processo iterativo do ADR para o refinamento das diretrizes da plataforma LUDS envolveu uma equipe multidisciplinar ativa composta por designers de interação, desenvolvedores de jogos, programadores, engenheiros de computação, neurocientistas e profissionais de fisioterapia e terapia ocupacional da UFPR e UFS. Isso possibilitou que a avaliação prática da versão 1.8 do jogo guiasse diretamente o refinamento das diretrizes de design, garantindo relevância prática e validade científica do produto (LIMA *et al*., 2023).

A usabilidade e interatividade da versão 1.8 do LUDS foram submetidas a uma avaliação conduzida no Departamento de Prevenção e Reabilitação em Fisioterapia (DPRF) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) no ano de 2023. A metodologia adotada consistiu na combinação de uma avaliação heurística interdisciplinar colaborativa com testes práticos de usabilidade conduzidos no Laboratório de Realidade Virtual do DPRF/UFPR.

A amostra avaliadora foi constituída por trinta (40) estudantes voluntários do curso de fisioterapia da UFPR, organizados em seis grupos de cinco participantes para fins metodológicos de calibração de dados (PETRIE, 2010). O protocolo experimental determinou que cada participante jogasse individualmente os seis minijogos do LUDS durante um tempo contínuo de cinco minutos por fase, totalizando trinta minutos de experiência prática ativa. Durante a sessão, utilizou-se a metodologia verbal *Think Aloud* (protocolo de pensar em voz alta), orientando o avaliador a expressar verbalmente todas as suas percepções, dúvidas, dificuldades e reações imediatas diante das respostas da interface de jogo (YOSHIDA, 2008). Dois aplicadores de pesquisa acompanharam cada sessão registrando de forma sistemática as falhas técnicas e operacionais expressas ou manifestadas em comportamento.

Imediatamente após a conclusão dos testes práticos de usabilidade, os trinta avaliadores procederam à realização da avaliação heurística colaborativa da interface. Esta etapa baseou-se na aplicação estruturada das 10 heurísticas de Pinelle para jogos eletrônicos (PINELLE *et al*., 2008). Para cada falha de usabilidade identificada no LUDS, os avaliadores atribuíram notas de gravidade clínica de

acordo com a escala clássica de gravidade de usabilidade proposta por Nielsen (1993), classificada em cinco níveis: 0 (sem relevância), 1 (problema cosmético de interface), 2 (problema menor que não impede o fluxo de jogo), 3 (problema maior que prejudica a fluidez, mas permite conclusão) e 4 (catástrofe de usabilidade que impede a continuidade da sessão terapêutica). Posteriormente, cada participante respondeu individualmente a um questionário estruturado de percepção de qualidade do *serious game*.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A avaliação heurística colaborativa interdisciplinar realizada com os seis estudantes de fisioterapia da UFPR registrou uma análise detalhada de erros técnicos e fragilidades de interação da interface na versão 1.8 do LUDS. É importante frisar que a totalidade das 40 sessões experimentais de testes totalizou 1.200 minutos de testes ativos de usabilidade prática com usuários (40 participantes × 30 minutos de protocolo), o que confere rigor metodológico e fidedignidade científica aos dados coletados.

Na bordagem de Design Soma-Estético, observou-se que durante a condução do protocolo verbal *Think Aloud* e workshops subsequentes de bodystorming do ADR, os voluntários expressaram percepções qualitativas valiosas sobre o impacto clínico da plataforma LUDS. Os estudantes fisioterapeutas voluntários enfatizaram de forma unânime que o LUDS desempenha um papel disruptivo ao introduzir parâmetros biomecanicamente precisos e registrar a evolução do teste de forma gráfica e objetiva (centímetros de elevação articular, número de flexões de tronco e pontuação de troféus). Esta objetividade estatística soluciona uma lacuna histórica da fisioterapia conservadora, onde pequenas evoluções proprioceptivas do paciente não eram percebidas pelos familiares, desvalorizando a entrega de valor do profissional de saúde (LIMA et al., 2023).

As discussões interdisciplinares sob a luz da teoria soma-estética de Kristina Höök indicaram que os jogos do LUDS conseguem, com eficácia, gerar uma maior consciência cinestésica no paciente. Ao atuar em pé de frente para o sensor e interagir com o avatar digital sem necessidade de um controle nas mãos, o paciente realiza a reflexão consciente de suas limitações físicas de movimento, ao mesmo tempo em que a interatividade promove feedback imediato em tempo real. Esta circularidade entre representação corporal digitalizada (esqueleto 3D) e movimento sentido corporificado otimiza o tratamento, tornando a reabilitação física

uma atividade expressiva de bem-estar corporal, e não meramente mecânica de repetição.

Ademais, as limitações cinéticas apontadas pelos avaliadores durante a experiência de calibração do sensor Microsoft Kinect® original – tais como problemas na detecção de pontos de articulação quando o paciente utilizava roupas excessivamente largas ou em ambientes clínicos com interferência excessiva de iluminação solar direta – evidenciam a necessidade de diretrizes rigorosas de design que preparem tecnicamente o ambiente de reabilitação. O aprimoramento dessas diretrizes operacionais de usabilidade, descritas como resultado final desta pesquisa DSR/ADR, garante um fluxo terapêutico contínuo de alta precisão.

Com base nos ciclos iterativos de análise de usabilidade, avaliação heurística colaborativa interdisciplinar e workshops práticos de bodystorming amparados pelo método Action Design Research, estruturou-se um conjunto preliminar de quatro (4) diretrizes fundamentais para o design de interações corporificadas em serious games de saúde. Estas diretrizes visam guiar designers e desenvolvedores na criação de soluções digitais de reabilitação com alto nível de usabilidade, engajamento e eficácia biomecânica.

Diretriz 1: Adaptabilidade Somática Parametrizada. O sistema de jogo deve, obrigatoriamente, fornecer uma interface pré-jogo voltada exclusivamente ao profissional de saúde, viabilizando a calibração milimétrica de sensibilidade de sensor, nível de obstáculos, velocidade de renderização e, fundamentalmente, parametrização lateral (estimulação motora à esquerda ou direita). Esta flexibilidade ajusta a experiência às limitações de cada paciente, superando padrões homogêneos de dificuldade e estendendo a eficácia para hemi-treinamento.

Diretriz 2: Feedback Estético e Visual em Tempo Real. Para evitar sobrecarga cognitiva no paciente e assegurar consciência cinestésica, a interface do serious game deve projetar feedbacks imediatos, simples e significativos. O esqueleto digital e as pontuações lúdicas devem atuar de forma a comunicar de forma instantânea a fidedignidade biomecânica do movimento, sem poluição visual ou microgerenciamento de dados que distraiam o paciente do foco estético do exercício motor realizado.

Diretriz 3: Prevenção de Movimentos Compensatórios. O software próprio de processamento cinético deve programar o esqueleto digital de forma a identificar e punir, de maneira sutil na lógica lúdica (sem frustrar o jogador), a execução de desvios e compensações

posturais. Se o sensor capturar uma inclinação pélvica incorreta ou elevação articular compensatória, o jogo deve bloquear a progressão da pontuação ou emitir alerta intuitivo na tela para que o terapeuta proceda à correção mecânica imediata.

Diretriz 4: Integração de Escalas Clínicas e Dados Objetivos. Todo *serious game* de reabilitação física deve incorporar de forma nativa e digitalizada escalas clínicas consolidadas de dor e percepção de esforço (como a Escala de Borg ou escalas analógicas de dor). Esta triangulação sistemática entre dados computacionais do sensor de movimento (frames por segundo) e a percepção declarada subjetiva do paciente fornece ao terapeuta um relatório clínico unificado de altíssimo valor de mercado e rigor científico, amparando o planejamento terapêutico estratégico de alta.

CONCLUSÕES

O presente estudo possibilitou descrever e analisar o processo de desenvolvimento e validação técnica e usabilidade da versão 1.8 da plataforma de serious games LUDS. Amparando-se no rigor metodológico da Design Science Research (DSR) e na intervenção participativa prática do Action Design Research (ADR), constatou-se que o LUDS se constitui como uma ferramenta coadjuvante de reabilitação neuromotora altamente robusta, inovadora e de alta aceitação por parte de futuros profissionais de fisioterapia.

A avaliação heurística colaborativa com os quarenta participantes evidenciou que o sistema combina excelente usabilidade prática com um ambiente virtual lúdico altamente estimulante. Constatou-se que nenhuma falha correspondeu a um problema de severidade catastrófica e de que a ampla maioria dos problemas apontados é de natureza menor ou cosmética confirma a prontidão técnica do software para uso clínico diário estruturado. Além disso, as diretrizes de design de interação corporificada propostas contribuem significativamente para a literatura científica ao estabelecer bases conceituais soma-estéticas para o desenvolvimento de futuras tecnologias digitais de saúde que coloquem o corpo em movimento consciente no centro do projeto.

Apesar dos resultados promissores, este estudo reconhece limitações técnicas relacionadas à precisão do sensor Microsoft Kinect® original (Kinect v1) na captação milimétrica de articulações em pacientes com graves deformidades anatômicas estruturais, bem como a restrição amostral da validação com acadêmicos e não com pacientes reais em estágio avançado de tratamento clínico. Para trabalhos futuros, recomenda-se a migração tecnológica do

software para sensores de captura de profundidade modernos de alta precisão (como o Kinect Azure) e a condução de estudos clínicos controlados de longo prazo com amostras clínicas de pacientes neurológicos e geriátricos em reabilitação ativa domiciliar e hospitalar.

REFERÊNCIAS

AUBERT, Alice H.; BAUER, René; LIENERT, Judit. A review of water-related serious games to specify use in environmental Multi-Criteria Decision Analysis. Environmental Modelling and Software, v. 105, p. 64–78, 2018.

BURNETO, M. Escala de Borg modificada análago visual aplicadas em pacientes com dispnéia. Revista Brasileira de Ciência e Movimento, v. 3, n. 1, p. 34-40, 1989.

CANDAU, J. et al. Revealing the Bodily Potential in Interaction Design. In: Proceedings of the 20th Australasian Conference on ComputerHuman Interaction Designing for Habitus and Habitat. ACM, p. 89-96, 2017.

CHANG, M.; LANGE, B.; ZHANG, Y. Natural user interfaces in healthcare: physical and cognitive stimulation. In: International Conference on Human-Computer Interaction. ACM, p. 121-128, 2012.

DUBEY, Venketesh N.; MANNA, Soumya K. Design of a game-based rehabilitation system using kinect sensor. Frontiers in Biomedical Devices, BIOMED - 2019 Design of Medical Devices Conference, DMD 2019, p. 16-18, 2019.

EICHINGER, F. L. F. et al. Serious game for balance rehabilitation of hemiparetic stroke patients. Research, Society and Development, v. 11, n. 14, p. 1-12, 2022.

FERREIRA, J. S.; MENEZES, C. S. Serious Games aplicados à saúde e reabilitação motora: uma revisão integrativa. Revista de Saúde Digital, v. 4, n. 2, p. 14-24, 2020.

FRAUENBERGER, Christopher. Entanglement HCI: the next wave?. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, v. 27, n. 1, p. 1-21, 2019.

GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, C. S. et al. Motion-based serious games for physical rehabilitation: a personalized approach. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, v. 27, n. 5, p. 321–336, 2019.

HEVNER, Alan; CHATTERJEE, Samir. Design Science Research in Information Systems. New York: Springer, p. 9-22, 2010.

HÖÖK, Kristina et al. Somaesthetic Appreciation Design. In: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI ’16). ACM, p. 3301-3308, 2016b.

HÖÖK, Kristina et al. Somaesthetic Design. Interactions, v. 22, n. 4, p. 26–33, 2015.

HÖÖK, Kristina. Embracing First-Person Perspectives in Soma-Based Design. Informatics, v. 5, n. 1, p. 8, 2018.

HÖÖK, Kristina. Unpacking Non-Dualistic Design: The Soma Design Case. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, v. 28, n. 6, p. 1-32, 2021.

HOMEWOOD, Sarah; HEDEMYR, Marika. Tracing conceptions of the body in hci: From user to more-than-human. In: Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings. ACM, 2021.

LIMA, Michell Angelo Santos et al. LUDS – Um Serious Game aliado na recuperação funcional de pacientes neuromotores. In: SILVA, I. S.; FERNANDES, M. G.; ABUD, A. K. S. Insights em ecossistema de Inovação digital na saúde. Aracaju: Backup Books Editora, 1. ed., p. 210-235, 2023.

LIMA, Michell Angelo Santos. Diretrizes de Design de Interações Corporificadas para Jogos Sérios na Saúde: Um Estudo da Plataforma LUDS com Action Design Research. Qualificação de Tese de Doutorado - PGDesign/UFRGS, Porto Alegre, 2023.

MA, Mengxuan; PROFFITT, Rachel; SKUBIC, Marjorie. Validation of a Kinect V2 based rehabilitation game. PLoS ONE, v. 13, n. 8, p. 1-18, 2018.

MICROSOFT. Documentação do Kinect para Windows. Redmond: Microsoft, 2015. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/windows/>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2023.

MOEN, Jin. Towards people based movement interaction and kinaesthetic interaction experiences. In: Proceedings of the 4th decennial conference on Critical computing between sense and sensibility (CC ’05). ACM, p. 121-128, 2005.

MUBIN, O. et al. Exploring serious games for stroke rehabilitation: a scoping review.

Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, p. 1–7, 2020.

NIELSEN, Jakob. Usability Engineering. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 1993.

OLIVEIRA, A. F. et al. Avaliação Heurística, Testes de Qualidade e Usabilidade do LUDS. Trabalho de Conclusão de Curso (Fisioterapia) - Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2023.

OLIVEIRA, J. P. et al. Exergames baseados em movimento para a reabilitação cognitiva e motora de idosos: um estudo clínico. ConScientiae Saúde, v. 17, n. 2, p. 113-119, 2018.

PEREIRA, B. M. et al. Efeito de um programa de gameterapia no equilíbrio de idosos. ConScientiae Saúde, v. 17, n. 2, p. 113-119, 2017.

PINELLE, D.; WONG, N.; STACH, T. Heuristic evaluation for games: usability principles for video game design. In: Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems. ACM, p. 1453–1462, 2008.

POMPEU, J. E. et al. Os efeitos da realidade virtual na reabilitação do acidente vascular cerebral: uma revisão sistemática. Topics in Stroke Rehabilitation, v. 21, n. 5, p. 321–336, 2014.

SEGURA, Elena Márquez; VIDAL, Laia Turmo; ROSTAMI, Asreen. Bodystorming for Movement-Based Interaction Design. Human Technology, v. 12, n. 2, p. 193–251, 2016.

SEIN, Maung K. et al. Action design research. MIS Quarterly: Management Information Systems, v. 35, n. 1, p. 37–56, 2011.

SILVA, L. D. L.; CHAPADEIRO, C. A.; ASSUMPCAO, M. C. O exercício da parentalidade após a dissolução conjugal: uma revisão integrativa. Pensando Família, v. 23, n. 1, p. 105-120, 2019.

TEICHMANN, M. et al. Serious games in physical therapy: rehabilitation of neurological and musculoskeletal disorders. Procedia Manufacturing, v. 45, p. 259-264, 2020.

UNITY. Unity Platform. San Francisco: Unity Technologies, 2023. Disponível em: <https://unity.com/pt>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2023.

YOSHIDA, M. Think-aloud protocols and type of reading task: The issue of reactivity

in l2 reading research. Selected Proceedings of the 2007 Second Language Research Forum, p. 199–209, 2008.