

André Felipe da Silva Figueiredo e Helda Oliveira Barros *

Virtualização e Fisioterapia: desenvolvimento, avaliação da performance e heurísticas de usabilidade em dois sistemas de realidade virtual e realidade mista para reabilitação de membros superiores

* André Felipe da Silva Figueiredo é Arquiteto, urbanista e designer formado pela UFPE e pela CESAR School, atua desde 2006 no mercado de visualização e é fundador do Studio Z7, empresa especializada em realidade virtual imersiva voltada para os segmentos de arquitetura, urbanismo tático digital, educação e saúde. É professor convidado da Institut Catholique d'Arts et Métiers/UNICAP ministrando a disciplina de tecnologias interativas do Design.

afsf@cesar.school

ORCID: 0000-0002-1418-8038

Helda Oliveira Barros é Coordenadora do Mestrado Profissional em Design da CESAR School. Docente da Pós-graduação e da Graduação em Design. UX researcher com ênfase em neurodesign e experiências simuladas e possui especial interesse em projetos de natureza decolonial, voltados para interseccionalidades. Head do LIGA - Laboratório de Inovação e Geração de Artefatos, que sediada as pesquisas em Design da referida instituição. Atua como consultora em projetos internacionais do CESAR. Doutora e Mestre em Design pela UFPE.

helda@cesar.school

ORCID 0000-0003-2337-493X

Resumo O processo de reabilitação motora é permeado por desafios e, em um contexto de inovação tecnológica, de grandes oportunidades. A presente investigação teve como objetivo elaborar dois sistemas com a participação de dez voluntários para testes e dois profissionais de fisioterapia a partir de uma plataforma de Realidade Virtual e outra de Realidade Mista voltadas a membros superiores, visando aperfeiçoar o acompanhamento, ampliar o alcance, melhorar o engajamento e a performance de terapias realizadas, presencial e remotamente, à luz de heurísticas de usabilidade ainda com voluntários de testes saudáveis. Além das heurísticas específicas para ambientes virtuais imersivos e uma abordagem de Design Thinking, o presente trabalho explicita o caminho metodológico perpassado para a compreensão do problema, ideação, prototipação, testes e validação dos sistemas propostos utilizando o Design Science Research, municiando futuros exploradores da Realidade Virtual e Realidade Mista com um processo estruturado e focado em desenvolver soluções para a área de fisioterapia. Os resultados mostram uma boa adoção por parte dos usuários aos dois sistemas, com vantagens e desvantagens particulares e uma necessidade de futuro desenvolvimento.

Palavras chave Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Realidade Mista, Fisioterapia, Design, Design Science Research.

Virtualization and physiotherapy: development, performance evaluation and heuristics of usability in two systems of virtual and mixed reality for the rehabilitation of upper members

Abstract *The motor rehabilitation process is fulfilled by challenges and, in a context of technological innovation, of great opportunities. The present investigation had as goal elaborate two systems with the participation of ten volunteers for testing and two physiotherapists from a Virtual Reality platform and another in Mixed Reality, aimed to upper-limb members, with the intention of improve the evaluation, expand reach, increase engagement and performance of remote and in person therapies, under the light of heuristics of usability still with healthy volunteers (control group). In addition to specific heuristics for virtual environments, and by a Design Thinking approach, the present work explains the methodological path taken to understand problem, ideation, prototyping, testing and evaluation of the proposed systems using Design Science Research providing future explorers of Virtual Reality, Augmented Reality and Mixed Reality with a structured process focused on the developing solutions for the field of physiotherapy. The results show good adoption by users of both systems, with critical advantages, disadvantages and also the need for further development.*

Keywords *Virtual Reality, Augmented Reality, Mixed Reality, Physiotherapy, Design, Design Science Research.*

Virtualización y fisioterapia: desarrollo, evaluación del desempeño y heurísticas de usabilidad en dos sistemas de realidad virtual y mixta para la rehabilitación de miembros superiores.

Resumen *El proceso de rehabilitación motriz está lleno de desafíos y, en un contexto de innovación tecnológica, de grandes oportunidades. La presente investigación tuvo como objetivo elaborar dos sistemas con la participación de diez voluntarios para pruebas y dos fisioterapeutas desde una plataforma de Realidad Virtual y Realidad Mixta, dirigidos a miembros superiores con la intención de mejorar la evaluación, ampliar el alcance, aumentar engagement y realización de terapias a distancia y presenciales, bajo la luz de heurísticas de usabilidad aún con voluntarios sanos. Además de heurísticas específicas para entornos virtuales y mediante un enfoque de Design Thinking, el trabajo explica el camino metodológico seguido para comprender el problema, la ideación, el prototipado, la prueba y la evaluación de los sistemas propuestos utilizando Design Science Research proporcionando a los futuros exploradores de Realidad Mixta con un proceso estructurado enfocado al desarrollo de soluciones para el campo de la fisioterapia. Los resultados muestran una buena adopción por parte de los usuarios, con ventajas críticas, desventajas y la necesidad de un mayor desarrollo.*
Palabras clave *Realidad Virtual, Realidad Mixta, fisioterapia, Design, Design Science Research.*

Introdução

Na área de fisioterapia, durante o processo de reabilitação motora, os pacientes participam de sessões presenciais onde o fisioterapeuta, além de ensinar e demonstrar exercícios, consegue dar um feedback em tempo real, corrigindo e garantindo que seu paciente realize os movimentos corretamente. Entretanto, diante da necessidade de também fazer exercícios em casa, sem guia, este paciente corre o risco de performar incorretamente, na melhor das hipóteses, sem ganhos de capacidade motora e, na pior das hipóteses, lesionando-se novamente (TANG. et al., 2015).

Nos últimos anos vários estudos na área de reabilitação neural e motora indicam a Realidade Virtual (RV), Realidade Mista (RM) e a Realidade Aumentada (RA) como ferramentas com potencial de contribuir positivamente aos resultados terapêuticos, isto devido à capacidade de controle do ambiente virtual quanto a feedbacks (visuais, sonoros, hápticos, dentre outros), flexibilidade de manipulação e adaptabilidade de cenários imersivos; sobre a capacidade de geração de dados que permitem um monitoramento de desempenho dos usuários (CAVALCANTI et al., 2018a) e do potencial de realização de sessões remotas, sem a presença física do fisioterapeuta no auxílio das tarefas, aumentando a dose de reabilitação, sem os custos associados com visitas clínicas (WITTMANN et al., 2015).

Em 2016, A Organização Mundial de Saúde, na 71ª Assembléia Mundial de Saúde (WHA71.8), defendeu a ampliação do acesso a tecnologias assistivas, recomendando o desenvolvimento, implementação e reforço de políticas que melhorem o acesso a tecnologias assistivas dentro do âmbito da saúde, garantindo recursos humanos treinados e adequados para que a provisão e manutenção de produtos assistivos estejam disponíveis em todos os níveis sociais, além de promover e investir em pesquisa, desenvolvimento inovação e design de produtos de modo a tornar tecnologias assistivas existentes mais acessíveis (WHO, 2016) com a participação de fisioterapeutas e pesquisadores, explorando recursos tecnológicos para melhorar a recuperação motora (CAVALCANTI et al., 2018a).

A área geral de interesse desta pesquisa é definida pela atividade de recuperação fisioterápica e, mais especificamente, seus desafios e oportunidades em um contexto de inovação tecnológica. Os atores envolvidos e elencados neste trabalho são caracterizados pelas figuras do fisioterapeuta, do designer e do usuário (paciente). Estes stakeholders serão considerados à luz de metodologias e ferramentas de Design para que suas complexidades e potenciais sejam contemplados, em especial, do Design Science Research (DRESCH et al., 2016) e avaliar os resultados sob o olhar de heurísticas de usabilidade em ambientes virtuais definidos por Sutcliffe et al., (2004) e Endsley et al. (2017).

Dentro do universo de tecnologias assistivas, as aplicações clínicas de Realidade Virtual, Aumentada e Mista abrangem um grande espectro de

áreas incluindo controle da dor, fobias, desordem alimentar, bem como reabilitação cognitiva e motora de pacientes. Quanto aos limites e potenciais de aplicações de ambientes virtuais e imersivos, um importante estudo de concordância sobre a interação com artefatos físicos e virtuais aplicado à validação do teste virtual de destreza manual Box and Blocks com usuários sem deficiência (Barros, 2017), investiga a atividade motora de usuários em um contexto virtual, comparando sua correspondência com o seu equivalente real. Para o estudo, o jogo Box and Blocks foi utilizado como experimento de teste onde os participantes desempenhavam uma atividade específica: mover blocos de uma parte da caixa para a outra em contextos reais e virtuais, seguindo heurísticas propostas por Sutcliffe et al. (2004) que foram baseadas em Nielsen (1994), levantando premissas como naturalidade da interação, necessidade de ajuste de tarefas, representação natural do usuário, dentre outras. Seu estudo de concordância sobre a interação com objetos físicos e virtuais, conclui que a realidade virtual pode ser utilizada como ferramenta de apoio à análise diagnóstica cinético-funcional em reabilitação e aponta concordância da interação entre os contextos reais e digitais. Outro exemplo de referencial para o presente trabalho é a aplicação desenvolvida por Vilela et al. (2020), chamado Ikapp Line-AR, que utiliza um sistema de realidade aumentada integrado com um sensor Kinect para identificar os padrões de movimento de pacientes, explorando o poder da tecnologia de Realidade Aumentada (RA) como um sistema de rastreamento e registro de movimentos precisos.

As vantagens dos sistemas virtuais imersivos residem na sua natureza dinâmica própria, articulável com as necessidades contextuais de cada terapia ou indivíduo, da capacidade de promover informação sensorial sofisticada de modo a gerar senso de presença e imersão durante uma tarefa em tempo real (RIVA G. et al, 2006) e também de permitir manipulações sensoriais impossíveis no mundo real, potencialmente maximizando reorganizações neurais induzidas por seus feedbacks (TIERI, G. 2018).

Por fim, uma característica comum a muitos sistemas de RA é a de que as soluções são desenvolvidas considerando exercícios específicos pre-determinados (VILELA et al., 2020) o que limitaria a operação, por parte do fisioterapeuta, da adoção de condutas nestes sistemas que consideram as diferentes necessidades de cada paciente e ao longo do tratamento. Para superar este problema, é importante considerar que quaisquer proposições levem em consideração a possibilidade de supressão da necessidade do desenvolvedor durante a operação da plataforma, deixando o profissional de fisioterapia com o máximo de autonomia para criação de novas terapias.

Baseado nestas necessidades, a presente investigação é focada em melhorar o acompanhamento, ampliar o alcance, engajamento e performance de terapias realizadas presencial e remotamente, compreendendo quais exercícios são relevantes para a reabilitação de membros superiores, transformando os exercícios em tarefas de um serious game, identificando e aplicando a melhor forma de realizar a captura de movimentos, tendo

como premissa o registro da evolução da amplitude de movimento ativa, analisando os dados coletados pelo sistema virtual, transformando-os em inputs clínicos. Por fim, é avaliada a usabilidade dos dois sistemas e comparados à luz de heurísticas específicas para RV e RA/RM e estimar qual abordagem é mais eficiente para a resolução do problema.

Este trabalho parte de premissas para formulação da hipótese explicativa do problema e alguns motivos pelos quais a Realidade Virtual pode ser elencada como uma das tecnologias referenciais de auxílio a terapias, descritos e defendidos por Tieri et al. (2018), de que é possível capturar, registrar e exibir os dados precisos de movimentos de usuários em um ambiente virtual imersivo para a avaliação do profissional de fisioterapia, contribuindo com maior controle das atividades e a consequente melhoria dos resultados finais da recuperação; de que, a partir do Design, é possível criar uma plataforma onde a figura do próprio Designer pode ser suprimida, dando autonomia ao fisioterapeuta para que estabeleça uma relação direta com o seu paciente sem a interferência de outro ator, criando exercícios customizados a cada necessidade e cada usuário; de que é possível que os pacientes realizem remotamente exercícios pré-estabelecidos pelo fisioterapeuta, considerando que toda a atividade possa ser avaliada pelo profissional com a garantia de que o paciente não comprometa sua recuperação; que a facilidade/mutabilidade do ambiente virtual/sintético contribui com aspectos de Design e individualização otimizada da terapia; o contexto potencialmente divertido ou engajante, mais motivador que o hospitalar, aumenta a participação ativa do usuário em sua reabilitação; a possibilidade de trazer para o ambiente hospitalar cenários externos do cotidiano, como casas, supermercados, ruas, etc. Além disso, uma plataforma simples e acessível poderá ser utilizada por profissionais, contribuindo com a melhoria do tratamento a partir do acompanhamento da evolução ao longo do tempo e, por fim, a possibilidade de coletar e analisar dados para monitoramento e avaliação do processo de reabilitação.

Metodologia

A metodologia utilizada foi uma adaptação da estrutura de Design Science Research (DSR) proposto por Dresch et al. (2015) a partir de Manson (2006) identificando quais condutas a serem tomadas ao longo de cada etapa da pesquisa (figura 1): visitas em campo, entrevistas, pesquisa bibliográfica, benchmarking e tradução de exercícios existentes em metáforas de serious game (conscientização - identificação do problema); croquis, matriz CSD e service blueprint de plataformas in-game e out-game (Sugestão - ideação); desenvolvimento de artefato de baixa fidelidade/Focus group de designers/desenvolvedores (desenvolvimento - prototipação); testes (avaliação - recrutamento de voluntários); conversão dos dados obtidos em informações relevantes para fisioterapeutas (conclusão - análise); Focus group com especialistas (validação).

Figura 1. ciclo do DSR adaptado de Dresch et al.

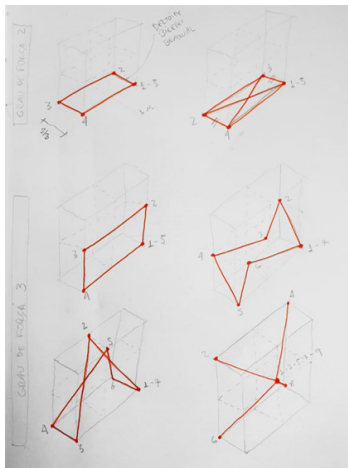
Fonte: Autor, 2015



Após a identificação do problema, ideação e prototipação (figura 2), que contou com o apoio dos profissionais de fisioterapia e do Focus Group para aprimoramento do sistema, um set-up foi montado e participantes foram convidados a realizar os testes.

Figura 2. traduzindo exercícios existentes em metáforas de jogo.

Fonte: Autor, 2021



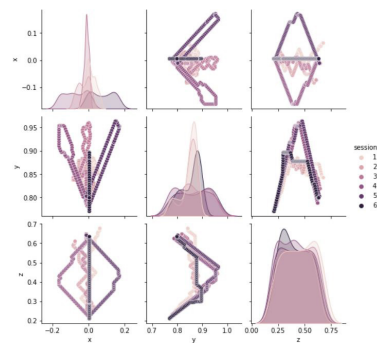
A plataforma de Realidade Virtual contou com a implementação de novos códigos para geração de feedbacks: visual, com a mudança de cor por colisão; sonoro, servindo como guia auxiliar à permanência da trajetória; e háptico, adicionando vibração no controle (joystick) durante a execução correta do exercício (tolerância de 5 cm de desvio).

Para início de cada teste, realizados no mesmo ambiente doméstico para as simulações na plataforma de RV e em ambientes domésticos distintos para as simulações de RM, foi realizada uma breve explanação sobre a

pesquisa (presencialmente para RV e remotamente para RM), seus desafios e regras, além da assinatura do termo de consentimento. Como todos os participantes eram saudáveis, a única adaptação feita foi com relação à altura da poltrona e a todo instante um facilitador guiou os voluntários para a utilização dos dispositivos: colocação dos óculos de realidade virtual (Oculus Rift CV2) e empunhadura do controle. Dentro do ambiente simulado, os participantes eram convidados a relaxarem, adaptarem-se a um cenário de sala de estar em 3D e a mover os controles, manipulando e se acostumando com o avatar. A partir do início da sessão de fisioterapia virtual, o usuário era “transportado” para um ambiente de consultório virtual e mais uma vez convidado a se ambientar, olhando para os lados e se familiarizando. O facilitador poderia acompanhar tudo o que o voluntário estava vendo através da tela do notebook. Depois de explicar as regras e duração do exercício, o participante do teste iniciava o registro das coordenadas (figura 3) ao colidir o controle com o personagem do PacMan. Ao final da trajetória do primeiro exercício, o facilitador dava início ao teste seguinte e assim por diante.

Figura 3. resultados da calibração do sistema e usuário.

Fonte: Autor, 2021



Um aplicativo foi gerado a partir da plataforma Unity 3D e instalado em um dispositivo mobile (Samsung Galaxy S9). O facilitador, ao instruir o voluntário como operar, pedia que o teste fosse iniciado por comando de voz, abrindo a aplicação com o dispositivo já montado na cabeça do usuário. Diferentemente da plataforma de RV, o sistema de RM não colheu as coordenadas das mãos durante os exercícios, e serviu de comparação apenas do ponto de vista de usabilidade, seguindo as heurísticas de Endsley et al. (2017). Todos os dez participantes concluíram as dez sessões de teste. O experimento durou cerca de oito semanas e contou com uma avaliação SUS adaptada ao final de cada sessão. Nenhum evento adverso foi relatado por nenhum participante.

Resultados

Os resultados foram separados por participante, com sessões e datas registradas separadamente. As coordenadas foram compiladas e transformadas em vetores e, a partir dos polígonos gerados, foram extraídos dados de coordenação motora (considerando os desvios do trajeto) (figura 4). Também foram extraídos valores sobre o nível de alcance, considerando distâncias entre o M0 (marco de repouso) e os outros marcos do exercício

Figura 4. valores obtidos separados por planos sagital, frontal e transversal.

Fonte: Autor, 2021

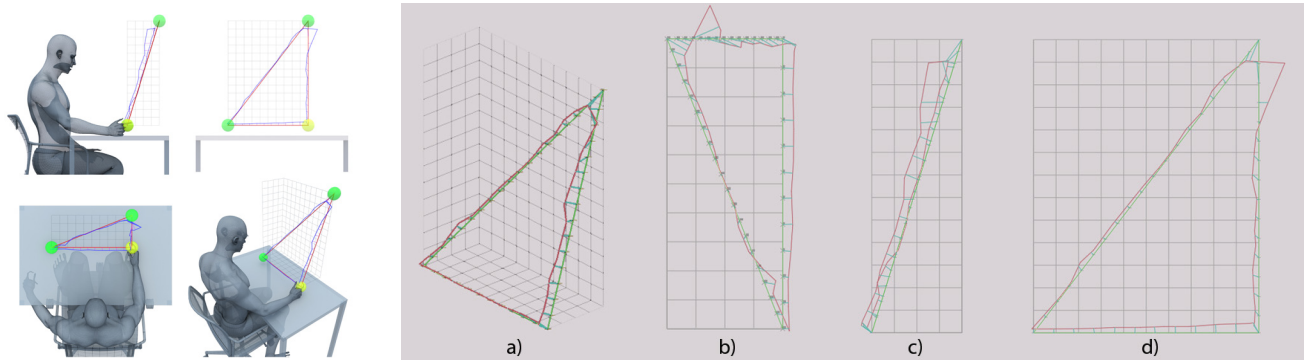
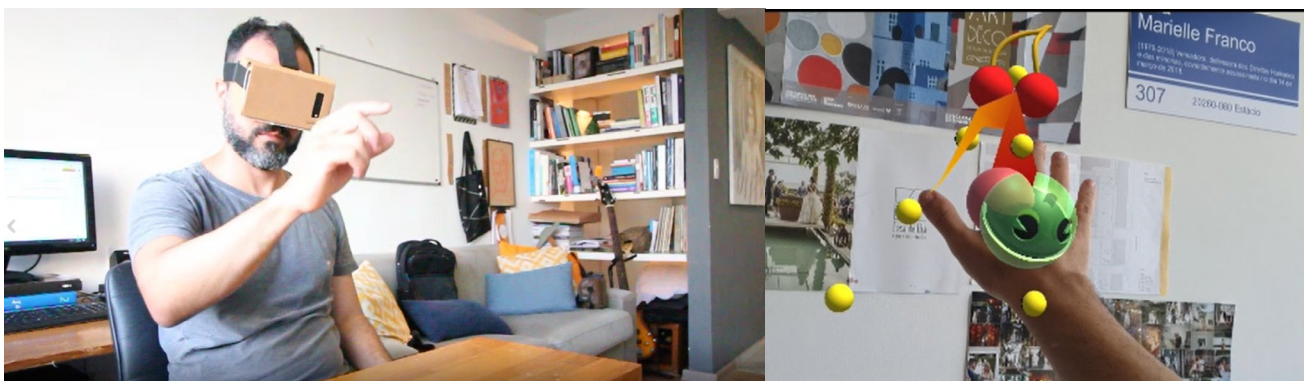


Figura 5. usuário utilizando o sistema de RM (Realidade Mista).

Fonte: Autor, 2021



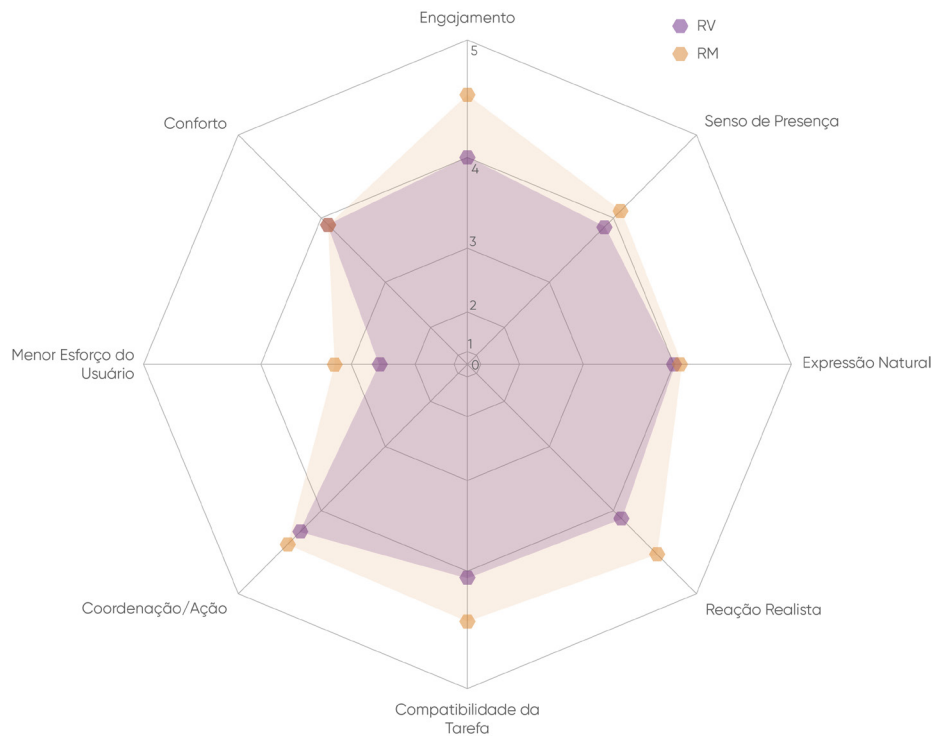
Ao todo, considerando os testes das plataformas de RV e RM, oitenta exercícios foram realizados onde critérios objetivos e subjetivos foram avaliados. No sistema de RV a taxa de sucesso do alcance dos marcos estabelecidos em todos os exercícios excedeu 94%. Já a taxa de coordenação motora, na média, nunca foi inferior a 90% com uma tolerância de 5 cm de desvio. Para avaliação da interface e da experiência dos usuários nos sistemas de RM (figura 5) e de RV, foi aplicado um questionário SUS.

Os resultados das avaliações realizadas pelos voluntários dos testes nas duas plataformas foram compilados e processados em tabelas e gráficos do tipo radar (figura 6). As médias foram obtidas por meio dos questionários de usabilidade, colhidos imediatamente após as sessões, e separados

pelos heurísticas (Sutcliffe, 2004 e Endlsey et al., 2017), Índice de Esforço do Usuário (DIXON et al. 2010) e conforto.

Figura 5. gráfico radar comparativo entre plataformas de RV e RM.

Fonte: Autor, 2021



Conclusão

O trabalho explorou o problema de recuperação motora de membros superiores com o intuito de colaborar com o trabalho do fisioterapeuta desenvolvendo um sistema de interface lúdica, permitindo o registro dos movimentos dos usuários aumentando o poder de avaliação dos fisioterapeutas sobre seus clientes do ponto de vista funcional e, como consequência, contribuindo positivamente para o tratamento.

Considerando alcance e coordenação motora (precisão), os movimentos ativos foram avaliados dentro do sistema de Realidade Virtual para validação por parte dos usuários que participaram da pesquisa. Após o aprofundamento conceitual e técnico da plataforma desenvolvida, juntamente com os fisioterapeutas, uma segunda plataforma foi criada, em Realidade Mista, utilizando o conhecimento adquirido em RV para ampliar os horizontes de adoção da tecnologia de virtualização imersiva e diminuir o risco de se restringirem ao consultório, na tentativa de dar oportunidade a um público que, especialmente durante a pandemia do Sars-Cov-2, viveu um isolamento social enquanto mantinha a necessidade de realizar fisioterapia.

A partir da comparação entre os dois sistemas, foi possível concluir que a plataforma de RM supera a plataforma de RV em todas as heurísticas. Além de ter obtido um resultado melhor com relação ao Índice de Esforço do Usuário, tem o potencial de traduzir os mesmos resultados relevantes encontrados no sistema de RV sem a necessidade de um dispositivo tão robusto como o Oculus Rift, utilizando técnicas mais recentes como Machine Learning e SLAM a partir de câmeras RGB. Como consequência, tem um potencial maior de adoção do que o sistema de RV por se tratar de uma tecnologia acessível (smartphone + Google Cardboard ou outro HMD de baixo custo) para pessoas em recuperação remota, contribuindo com o acompanhamento por parte do fisioterapeuta, ampliando o número de usuários e melhorando os resultados finais da recuperação motora.

As recomendações futuras do presente trabalho são de desenvolvimento e validação do sistema de RV com pacientes que possuem alguma plegia de membro superior, como aqueles que passaram por cirurgia de reinervação do plexo braquial. O sistema de RM pode fazer parte desta validação, entretanto requer um desenvolvimento maior com relação ao registro e processamento dos dados de coordenadas espaciais. O objetivo deve ser a de compilação de todos os registros na nuvem de dados e sua respectiva exibição na plataforma de acompanhamento, que também carece de ser desenvolvida e validada, tanto do ponto de vista de usabilidade como também do seu back-end. Não menos importante, a possibilidade de incorporar nos sistemas a autonomia plena de criação dos exercícios pelo fisioterapeuta, eliminando o papel do designer permanente e facilitando o workflow do cotidiano do profissional de saúde.

Principais achados

Aqui estão elencados os principais achados da pesquisa ao longo do seu desenvolvimento:

- Tridimensionalização das coordenadas espaciais

O registro dos dados das coordenadas permitiu a tradução dos movimentos em informações referentes a alcance e coordenação motora para o fisioterapeuta possibilitando, a partir de estudos futuros e de seu desenvolvimento, a adoção do sistema em um contexto de consultório ou escolar;

- Possibilidade de automação

Parte do processo foi automatizado a partir de códigos (C#) dentro da plataforma Unity, registrando as coordenadas e separando as sessões por usuário, exercício, data, ID, etc. Há a possibilidade, com mais desenvolvimento, de automatizar toda a cadeia de processos;

- Utilização remota

Unindo ferramentas acessíveis a uma grande parcela da população: smartphone e Google Cardboard, é possível considerar a adoção do sistema de RM em um contexto de terapia remota. Parte dos testes aconteceu com usuários isolados em suas próprias residências, sem o acompanhamento do facilitador in loco, apenas virtualmente através de vídeo-chamada. Isto leva a crer que o fisioterapeuta também consiga auxiliar seus pacientes à distância;

- Rastreo das mãos

Alguns SDK's (Software Development Kits) e API's (Application Programming Interfaces) foram utilizados no desenvolvimentos das duas plataformas. Em especial, o Manomotion SDK (gratuito em sua versão mais básica) foi utilizado para o rastreo das mãos. Com sua adoção, foi possível viabilizar a pesquisa em um nível mais aprofundado, colaborando com códigos já prontos e de fácil conversão para o sistema que foi desenvolvido;

- Autonomia

Mesmo como prova de conceito, a possibilidade de criação de exercícios pelo próprio fisioterapeuta foi considerada em parte da plataforma de RV. Foi gerado um código para criação de marcos de alcance utilizando o controle do Oculus Rift (ao pressionar o botão "A"), formando o polígono ou curvas do perímetro do exercício. A simulação feita indica que a abordagem pode ser de fácil adoção por parte dos fisioterapeutas.

Principais dificuldades

Além da necessidade de isolamento social durante a pandemia de Sars-Cov-2, que impediu uma testagem mais abrangente e comprometeu parte do desenvolvimento, as principais dificuldades encontradas durante a investigação e concepção dos sistemas foram as seguintes:

SISTEMA DE RV

- Tracking

É necessário adaptar o sistema do Oculus Rift à estação de trabalho onde será desempenhada a tarefa. Adotar HMD's do tipo standalone, com sensoriamento incorporado ao próprio headset, como o Meta Quest 2, facilitariam a montagem e adoção do sistema;

- Conversão das coordenadas em vetores

O processo de tradução das coordenadas X, Y e Z capturadas no Unity em vetores foi manual, coletando os dados do .CSV, transformando em script e abrindo no AutoCad. Todo este processo pode ser automatizado a partir de códigos dedicados;

- Conversão de vetores em gráficos

A exibição dos vetores também aconteceu de maneira manual, para que alimentassem a prova de conceito da plataforma de acompanhamento. Estes dados vetoriais e o front-end da plataforma devem ser tratados e desenvolvidos para que desde a captação dos movimentos até a interface do dashboard (plataforma de acompanhamento) utilizado pelo fisioterapeuta, não haja qualquer necessidade de intervenção, seja do designer, seja do desenvolvedor de TI na prática cotidiana, restando a integração entre todos os sistemas para que funcionem em tempo real;

- Adaptação da altura de cada usuário

O sistema de RV necessita de atualização com relação à altura de cada participante. Isto influencia diretamente na percepção de escala do espaço e pode ter consequências negativas sobre a execução dos exercícios;

- Nível de esforço do usuário

Tanto para o paciente quanto para o fisioterapeuta, o nível de esforço é relativamente grande, pois acarreta na adoção de uma nova rotina um tanto laboriosa dentro do processo de avaliação e de execução do tratamento, pois se trata de um dispositivo robusto que necessita de um computador dedicado ao hardware, ao menos no caso desta pesquisa (Oculus Rift CV1). Novos HMD's, como o Oculus Quest são dotados de componentes internos capazes de processar a aplicação em sua plenitude, abolindo sensores externos (possui sensores embutidos no HMD) e também computadores auxiliares. Não obstante, possuem bibliotecas específicas para tracking de mão, incluindo a possibilidade de exploração da motricidade fina;

- Alcance para público leigo

Esta tecnologia, sobretudo no contexto brasileiro, é inacessível ao grande público, com potencial de ficar restrita a apenas alguns consultórios particulares.

SISTEMA DE RM

- Nova tecnologia

Por ser uma tecnologia no início do seu desenvolvimento, ainda existe uma escassez de documentação, de tutoriais e de suporte;

- Tracking

Há a necessidade de SLAM, principalmente no início da aplicação pois utiliza câmeras comuns do celular e não sensores infravermelho que existem apenas em smartphones mais caros do mercado. Por esta razão, o sistema só deve ser utilizado durante a luz do dia para facilitar o sensoria-mento por câmera RGB;

- Alcance para público leigo e necessidade de HMD (Google CardBo-ard)

Apesar de ser um HMD acessível do ponto de vista de custo, ainda assim pode ser um entrave na adoção de um público leigo. Resta como fun-damental a tutoria do profissional de fisioterapia para auxiliar no início da utilização do sistema;

- Requisitos de Hardware e Software

A aplicação desenvolvida é relativamente leve (cerca de 50Mb), po-rém com um desenvolvimento mais robusto pode acabar se transformando em um software “pesado” e diante do processamento de alguns smartpho-nes, pode gerar problemas como travamento e diminuição de respostas (<200Ms, comprometendo a imersão) e das interações. Além disso, alguns dispositivos mobile podem não ter certos recursos de hardware como ace-lerômetro e giroscópio, cruciais para a utilização do sistema;

- Conversão das coordenadas em vetores, em gráficos e integração com a plataforma de acompanhamento;

- Oclusão e senso de escala (por conta da percepção de distância)

Um dos maiores problemas em sistemas de RA/RM é a oclusão e, neste estudo, a solução foi a de incorporar no sensoria-mento da mão, uma esfera vermelha para que a informação real (mão vista pelo display do smar-tphone) fosse sobreposta pelo elemento 3D. Esta abordagem teve um papel crítico com relação à percepção de escala dos elementos do jogo PacMan. Nos primeiros testes, ainda sem a esfera vermelha, os usuários estimavam escalas e distâncias erroneamente;

- Sombras e iluminação dinâmica

Não incorporadas ao sistema devido a limitações técnicas mas reco-mendadas para um estudo futuro, sombras e iluminação dos objetos virtu-

ais contextualizadas com o ambiente real devem aumentar o senso de integração visual, aprimorando o senso de imersão e suspensão de descrença do sistema.

Referências

BARROS, H. **Estudo de concordância sobre a interação com artefatos físicos e virtuais: um estudo aplicado à validação do teste virtual de destreza manual box and blocks com usuários sem deficiência.** Tese (Doutorado em Design) – Departamento de Design, Centro de Artes e Comunicação, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 34. 2017.

BROWN, T. **Design Thinking.** Harvard business review. 86. 84-92, 141, 2008

BROWN, T. **Change By Design.** Tim Brown. p. 381-383, 2016.

CAVALCANTI, V. C. et al. **Usability Assessments for Augmented Reality Motor Rehabilitation Solutions: A Systematic Review.** International Journal of Computer Games Technology, v. 2018, p. 5387896, 2018a.

DA GAMA, A. E. F. et al. **Rehabilitation motion recognition based on the international biomechanical standards.** Expert Systems with Applications, v. 116, p. 396-409, 2019.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P. **Apresentação Design Science e Design Science Research: Método de Pesquisa para o avanço da Ciência e da Tecnologia.** Gmap | Unisino, p. 1-72, 2016.

DUARTE, N.; POSTOLACHE, O.; SCHARCANSKI, J. **KSGphysio-Kinect serious game for physiotherapy.** EPE 2014 - Proceedings of the 2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, n. Epe, p. 606-611, 2014.

ENDSLEY, T. C. et al. **Augmented reality design heuristics: Designing for dynamic interactions.** Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, v. 2017-October, n. 1990, p. 2100-2104, 2017.

GALE, N.; MIRZA-BABAEI, P.; PEDERSEN, I. **Heuristic guidelines for wearable augmented reality applications.** CHI PLAY 2015 - Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, n. October 2017, p. 529-534, 2015.

HOLDEN, M. K. **Virtual environments for motor rehabilitation: Review.** Cyberpsychology and Behavior, v. 8, n. 3, p. 187-211, 2005.

NIELSEN, J. **Usability Engineering**. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA., 1994.

RIVA, G.; CASTELNUOVO, G.; MANTOVANI, F. **Transformation of flow in rehabilitation: the role of advanced communication technologies**. Behavior research methods, v. 38, n. 2, p. 237-244, 2006.

SUTCLIFFE, A.; GAULT, B. **Heuristic evaluation of virtual reality applications**. Interacting with Computers, v. 16, n. 4, p. 831-849, 2004.

TIERI, G. et al. **Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies**. Expert Review of Medical Devices, v. 15, n. 2, p. 107-117, 2018.

VILELA, V. et al. **Improving Therapeutic Exercises Possibilities Through a Configurable Augmented Reality Motor Rehabilitation Application**. 2020.

WHO. **Improving Access To Assistive Technology for Everyone, Everywhere**. n. WHO/EMP/PHI/2016.01, p. 5-7, 2016.

WITTMANN, F. et al. **Assessment-driven arm therapy at home using an IMU-based virtual reality system**. IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, v. 2015-Septe, n. November 2018, p. 707-712, 2015.

Recebido: 09 de maio de 2022

Aprovado: 17 de maio de 2022