

Avaliação de um Exergame para a Telerreabilitação de Pacientes

Daniela Fernandes do Nascimento¹, Carlos Henrique Rorato Souza¹,
Luciana de Oliveira Berretta¹, Sergio T. Carvalho¹

¹Instituto de Informática – Universidade Federal do Goiás (UFG)

fdaniela@discente.ufg.br, {carlossouza, sergio, luciana}@inf.ufg.br

Abstract. *Rehabilitation is a process aimed at restoring the motor functions of patients. The guidance of a healthcare professional and the consistency of the patient are crucial for the success of the treatment. To improve this process, serious games can be integrated into rehabilitation activities. In this sense, the digital game CicloExergame was developed, in which the patient must pedal in a cycle ergometer, dodging obstacles and collecting coins, while physiological data are captured and presented. The objective of this work is to evaluate CicloExergame regarding its communication functionalities, together with specialists (physiotherapist), through the Delphi method, and volunteers in a controlled environment. Tests and evaluations demonstrate the effectiveness of CicloExergame for the telerehabilitation of patients.*

Resumo. *A reabilitação é um processo que visa recuperar as funções motoras de pacientes. O acompanhamento de um profissional de saúde e a constância do paciente são cruciais para o sucesso do tratamento. Para melhorar esse processo, jogos sérios podem ser integrados às atividades de reabilitação. Neste sentido, foi desenvolvido o jogo digital CicloExergame, em que o paciente deve pedalar em um cicloergômetro, desviando de obstáculos e coletando moedas, enquanto dados fisiológicos são capturados e apresentados. O objetivo deste trabalho é avaliar o CicloExergame quanto às suas funcionalidades de comunicação, junto a especialistas (fisioterapeutas), por meio do método Delphi, e voluntários em ambiente controlado. Os testes e avaliações demonstram a eficácia do CicloExergame para a telerreabilitação de pacientes.*

1. Introdução

A finalidade da reabilitação é restaurar um paciente a um estado anterior àquele em que foi afetado por um acidente, doença ou condição. Esse processo requer a orientação de especialistas [Santos and Pinheiro 2016] e o uso de equipamentos específicos, adaptando o tratamento às necessidades individuais de cada paciente. No entanto, o sucesso da reabilitação também depende do comprometimento do paciente com todo o processo.

Para tornar as sessões de reabilitação mais agradáveis e aumentar a colaboração do paciente, um jogo sério foi desenvolvido pelos autores [Battisti 2020, Souza et al. 2021] para ser usado em conjunto com o fisioterapeuta. Com este jogo, chamado CicloExergame¹, o paciente realiza os exercícios por meio de um cicloergômetro permitindo o

¹“CicloExergame — Jogo para Reabilitação de Pacientes com Cicloergômetro” (registrado junto ao INPI sob o processo no. BR512022001849-7).

monitoramento por meio de sensores que capturam dados fisiológicos do paciente e a telecomunicação fazendo o uso de um sistema de comunicação.

O objetivo deste trabalho é a realização de testes e avaliação do CicloExergame desenvolvido em três etapas diferentes. A primeira etapa consiste na realização de testes funcionais do tipo caixa-preta, utilizando a técnica de *Error Guessing* [Myers et al. 2004], a fim de criar casos de teste que demonstrem o tempo de reação do sistema de comunicação em tempo real. A segunda etapa envolve a avaliação do jogo junto a profissionais de saúde, utilizando o método Delphi [Bloor et al. 2015]. Por fim, a terceira etapa consiste na execução de avaliação junto a voluntários durante uma sessão curta e controlada.

Este artigo está organizado em outras 4 (quatro) seções, além desta introdutória. A Seção 2 apresenta o CicloExergame e as funcionalidades de comunicação em tempo real disponíveis no jogo. A Seção 3 apresenta os testes funcionais com sua estruturação e resultados. A Seção 4 mostra a avaliação do jogo em relação aos seus usuários, tanto especialistas profissionais de saúde quanto voluntários. Por fim, a Seção 5 traz as considerações finais e os próximos passos da pesquisa.

2. CicloExergame

No contexto de reabilitação de pacientes, o CicloExergame foi desenvolvido como um jogo sério, projetado para potencializar a sessão de reabilitação, visando engajar o paciente durante o tratamento, mesmo que remotamente [Souza 2022].

O CicloExergame é composto pelo cicloergômetro, que foi adaptado com a adição de sensores para monitorar a frequência cardíaca e oxigenação do sangue do paciente. Os sensores são integrados à placa de Arduíno Uno, sendo que os dados são coletados por um *middleware*, que recebe e envia estes dados via porta serial USB (Figura 1). Os dispositivos são integrados ao jogo no formato de um circuito (corrida infinita), permitindo uma atividade física, lúdica e interativa durante a telerreabilitação.



Figura 1. Cicloergômetro adaptado [Souza et al. 2022].

Durante a sessão, o paciente deve pedalar no cicloergômetro (que movimenta o avatar dentro do jogo), desviando dos obstáculos e coletando moedas para avançar no jogo. O fisioterapeuta acompanha a evolução cardiorrespiratória do paciente por meio de HUDs (*Heads-up Display*), como apresentado na Figura 2. Ao término da sessão, é apresentado um gráfico com a evolução do desempenho do paciente na sessão.

A realização da comunicação entre o paciente e o profissional de saúde no CicloExergame ocorre por meio de um modelo de videoconferência utilizando a tecnologia WebRTC (Web Real-Time Communication) usada em aplicações web para capturar e

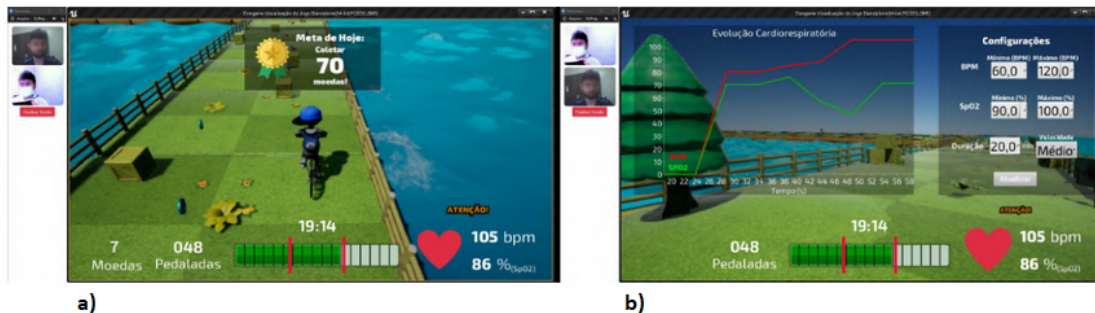


Figura 2. Jogo em funcionamento: a) visão paciente e b) visão fisioterapeuta [Souza et al. 2022].

transmitir áudio, vídeo e dados entre navegadores de internet sem a necessidade de um servidor intermediário [Sredojev et al. 2015]. A aplicação de videoconferência desenvolvida para funcionar em conjunto com o jogo [Souza 2022] permite que os *peers* se conectem remotamente ao servidor por meio de uma aplicação *web*.

3. Testes Funcionais

Realizar testes é fundamental para assegurar a qualidade de uma aplicação, servindo tanto para validar seu funcionamento quanto para descobrir erros antes de seu uso [Monteiro 2021]. Os testes funcionais, também conhecidos como caixa-preta, referem-se a uma técnica onde os testes são projetados de maneira que a implementação não seja examinada [Delamaro et al. 2016].

A partir das especificações do software, pode-se estabelecer critérios para derivar conjuntos de teste. O critério escolhido para a elaboração dos casos de teste deste trabalho é o *Error Guessing*, uma técnica onde os testes são projetados considerando a experiência do testador, o qual prevê os erros e os cenários prováveis em que podem ocorrer falhas.

3.1. Estruturação dos casos de teste

A avaliação de um sistema costuma ser exclusiva, isso se deve ao fato de que cada sistema costuma ter hardware, software e tipos de usuários próprios [Jain 1991]. O CicloExergame, neste caso, é um conjunto de objetos que envolve sensores, aparelho, placas e software, os quais trabalham juntos para que a quantidade de pedaladas e dados fisiológicos sejam recebidos, processados e enviados para o software durante uma sessão de telerreabilitação.

A execução de uma avaliação para o CicloExergame planeja averiguar se as funcionalidades de comunicação foram integradas com êxito e permitem a comunicação remota atendendo à tolerância desejada para um sistema de tempo real [Kopetz 2011].

Os experimentos foram projetados em um ambiente com rede limitada, com 3 (três) casos de teste: Rede (A) com velocidade de *download* igual a 100 Mbps e *upload* 50 Mbps; Rede (B) com velocidade de *download* igual a 2 Mbps e *upload* 1 Mbps; e Rede (C) com velocidade de *download* igual a 0.2 Mbps e *upload* 0.1 Mbps. Vale ressaltar que somente houve restrições de rede para um dos participante da comunicação. Para cada cenário, foram realizados três ciclos de testes com duração de 5 minutos cada.

O navegador Google Chrome foi usado em todos os casos, por possuir ferramentas de monitoramento do WebRTC (*chrome://webrtc-internals/*).

3.2. Execução dos casos de teste

Por se tratar de teste das funcionalidades de comunicação do CicloExergame, o foco foi quanto aos fluxos de mídia e como se comportam com a alteração da largura de banda de internet, a qual pressupõe ter influência na qualidade geral de uma videochamada baseada na experiência do testador. Os testes foram realizados utilizando um *smartphone* e um *notebook* como *peers*, sendo que os cenários de modificação da rede ocorreram apenas no *notebook*. Dentre todos os parâmetros disponíveis em uma conexão WebRTC, a investigação teve como ponto central as variáveis de transmissão que são possíveis de serem monitoradas pelo WebRTC.

Em relação ao áudio foi utilizado o *codec*² de áudio Opus, obtendo-se uma latência inferior a 150ms e uma perda de pacotes inferior a 1% (os quais são considerados bons resultados para uma avaliação de qualidade de áudio) em todos os ambientes de rede especificados. No que diz respeito ao vídeo, foi utilizado o *codec* de vídeo VP8, alcançando uma largura de banda para a transmissão de dados por volta de 4 Mbps nas Redes (B) e (C), sendo que na Rede (A) esse número ficou em torno de 1 Mbps, resultando também em uma boa taxa de bits para se obter uma transmissão de vídeo de qualidade.

Outra variável importante em relação à qualidade da videochamada é a quantidade de imagens individuais (*frames*) que foram enviadas e recebidas durante o tempo de teste: na Rede (A) foram processados entre 11 e 9 *frames* por segundo, totalizando aproximadamente 3.5K *frames*; na Rede (B) foram processados entre 13 e 10 *frames* por segundo, totalizando aproximadamente 4K *frames*, e na Rede (C) foram processados entre 15 a 10 *frames* por segundo totalizando aproximadamente 5.8K *frames* durante os 5 minutos. Devido ao tipo de compressão de vídeo e áudio, foi possível obter uma transmissão fluída, mesmo em casos de rede mais limitadas, uma vez que mesmo com a redução do tamanho dos arquivos a qualidade não foi comprometida.

De forma geral, a aplicação apresentou um bom desempenho. Isso se deve ao fato de ser é uma aplicação leve, com um número de participantes reduzido e com poucos recursos disponíveis, além de possuir um tamanho de quadro de vídeo pequeno e uma taxa de *frames* por segundo baixa, não causando perda de fluidez na videochamada. Portanto, é possível estabelecer e manter a comunicação remota entre o paciente e o fisioterapeuta sem grandes dificuldades, independentemente da disponibilidade de uma taxa de transferência de rede alta. Ambos os *codecs* de áudio e vídeo foram adotados como um padrão pelo WebRTC, e são muitos importantes para uma qualidade de videochamada superior, mesmo com uma baixa largura de banda larga.

4. Avaliação com os usuários

No intuito de avaliar o CicloExergame com usuários, optou-se por utilizar o método Delphi com especialistas (fisioterapeutas) e um experimento junto a voluntários^{3, 4}

²Codecs são *softwares* que codificam e decodificam arquivos de mídia.

³A aprovação do Comitê de Ética (CEP/UFG) pode ser consultada na Plataforma Brasil sob o código de CAAE: 35651120.6.0000.5083 com o parecer de número 5025873.

⁴O material suplementar e códigos-fonte estão disponível em <https://github.com/FDaniela/CicloExergame-1.0>

4.1. Avaliação com especialistas

Foi escolhida a técnica de avaliação chamada de método Delphi [Bloor et al. 2015] por ser amplamente utilizada na área da saúde, que consiste em reunir a avaliação de um grupo de especialistas a fim de alcançar um consenso (definido neste trabalho como superior a 80%). O método é formado por uma série de rodadas de questionários onde os especialistas respondem e recebem o retorno do grupo de pesquisa a fim de se obter uma avaliação mais precisa.

A primeira fase da avaliação Delphi do CicloExergame consistiu em 12 questões fechadas e 4 questões abertas. As assertivas abordaram a aplicação, a viabilidade do CicloExergame em sessões de telerreabilitação, a possibilidade de configuração e personalização para os fisioterapeutas, o acompanhamento em tempo real e o potencial de engajamento na atividade. Nessa fase foram levantados pontos sobre a ergonomia do paciente ao usar o cicloergômetro com o jogo e a possibilidade de utilizá-lo para membros superiores.

Na segunda fase, foram consideradas as sugestões e problemáticas apontadas na primeira fase pelos juízes e da própria evolução e demandas do protótipo. Uma das questões da primeira fase, que obteve uma pequena taxa de divergência, foi ajustada substituindo-se o termo “suficiente” por “satisfatório” para evitar interpretações errôneas, ficando da seguinte forma: “O exergame construído permite de forma *satisfatória* a realização de sessões de telerreabilitação?”. Tal ajuste tendeu a um maior consenso e uma probabilidade alta de ter sido um problema semântico e não relacionado ao CicloExergame. As questões restantes diziam respeito à posição de utilização do protótipo, onde sentado obtiveram-se 100% de concordância, e deitado 88,8%, e também sobre o seu uso em membros superiores, proposto na fase anterior, que adquiriu 88,8% de aprovação.

Como não houve novas considerações levantadas durante o processo de avaliação, e com a concordância alcançada em todas as declarações, não foi necessário realizar mais fases. As rodadas de Avaliação Delphi validaram aspectos específicos e práticos do protótipo, além de confirmarem que ele é eficaz como suporte para processos de telerreabilitação.

4.2. Avaliação junto a voluntários

Foi realizado um experimento com voluntários para avaliar o CicloExergame em relação à sua jogabilidade e potencial de engajamento com uma Experiência de Jogador (PX). O teste de PX foi realizado com 12 voluntários de diversas idades e níveis de escolaridade. Durante 5 minutos, os voluntários interagiram com o jogo utilizando um cicloergômetro e um miniteclado para movimentar o avatar do jogo. A equipe de pesquisa monitorou e gravou a atividade. Além disso, um questionário foi aplicado antes e após a realização do experimento para uma análise estatística.

Os resultados indicaram que os voluntários compreenderam bem as funcionalidades do CicloExergame e apresentaram engajamento durante a atividade. Houve poucos momentos em que a equipe de pesquisa precisou intervir durante as sessões do experimento. De forma geral, os voluntários avaliaram positivamente o protótipo desenvolvido e concordaram em interagir novamente com o CicloExergame.

5. Conclusão

Com base nos testes e avaliações apresentados neste trabalho, pode-se concluir que o protótipo e suas funcionalidades de comunicação em tempo real são válidos e eficazes. A aplicação demonstrou estabilidade e um tempo de resposta aceitável, mesmo em condições de rede com pouca largura de banda, além de apresentar taxas adequadas de envio e recebimento de mídias de *streams*. Quanto ao CicloExergame, sua avaliação com especialistas e voluntários por meio do método Delphi e do experimento de Experiência de Jogador resultou em indicativos positivos para sua eficácia como suporte para o processo de telerreabilitação, além de seu potencial engajador e lúdico.

Os próximos passos da pesquisa envolvem a avaliação do CicloExergame junto a pacientes de reabilitação funcional, além de sua evolução e aprimoramento para tornar-se um produto viável para sessões de telerreabilitação.

References

- Battisti, D. (2020). Exergame com cicloergômetro para a reabilitação de pacientes. Master's thesis, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Bloor, M., Sampson, H., Baker, S., and Dahlgren, K. (2015). Useful but no oracle: reflections on the use of a delphi group in a multi-methods policy research study. *Qualitative Research*, 15:57–70.
- Delamaro, M. E., Maldonado, J. C., and Jino, M. (2016). *Introdução ao Teste de Software*. 2 ed. edition.
- Jain, R. (1991). *The art of computer systems performance analysis*. John Wiley & Sons, Nashville, TN.
- Kopetz, H. (2011). *Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications*. Springer Publishing Company, Incorporated, 2nd edition.
- Monteiro, M. R. S. (2021). *Desenvolvimento de testes automatizados para frontend*. PhD thesis.
- Myers, G. J., Sandler, C., Badgett, T., and Thomas, T. M. (2004). *The art of software testing*. Business Data Processing S. John Wiley & Sons, Nashville, TN, 2 edition.
- Santos, D. and Pinheiro, I. (2016). Telereabilitação no tratamento de disfunções neurológicas: Revisão narrativa. *Revista Scientia*, 1:96–106.
- Souza, C. H. R. (2022). Exergame distribuído com cicloergômetro para a reabilitação de pacientes e geração de engajamento em contextos de telerreabilitação. Master's thesis, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Souza, C. H. R., de Oliveira, D. M., de Oliveira Berretta, L., and de Carvalho, S. T. (2021). Jogos sérios e elementos de jogos na promoção de engajamento em contextos de telerreabilitação de pacientes. In *SBGames 2021*, Gramado, RS, Brasil. SBC.
- Souza, C. H. R., de Oliveira, D. M., do Nascimento, D. F., de Oliveira Berretta, L., and de Carvalho, S. T. (2022). A serious games and game elements based approach for patient telerehabilitation contexts. *Journal on Interactive Systems*, 13(1):179–191.
- Sredojev, B., Samardzija, D., and Posarac, D. (2015). Webrtc technology overview and signaling solution design and implementation. In *38th MIPRO*, pages 1006–1009.