

Proposta de Jogo SériO para Reabilitação Física de Membros Inferiores

Title: Serious Game Proposal for Lower Limb Physical Rehabilitation

**Juan Rocha Stefani^{1,2}, Miguel Lucas Tadeo^{1,2},
Erico Marcelo Hoff do Amaral^{1,2}, Julio Saraçol Domingues Júnior^{1,2}**

¹ Grupo de Informática Médica e Microeletrônica (GIMM)
Engenharia de Computação
Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé, RS – Brasil
{juanstefani.aluno, migueladeo.aluno}@unipampa.edu.br
{ericoamaral, juliomingues}@unipampa.edu.br

Abstract. Introduction: Conventional physiotherapy sessions often face adherence challenges due to the repetitive nature of exercises and the physical discomfort inherent to the rehabilitation process. In this context, the use of serious games aimed at this process is a possible solution within medical informatics. Thus, the adoption of a soccer-themed serious game, deeply rooted in Brazilian culture, is expected to promote superior patient engagement by acting as a strong motivational stimulus that reduces fatigue perception and emotional stress associated with treatment. **Objective:** This project aims at the development and integration of a penalty kick exergame into the “PhysioGames” platform, seeking to optimize motor recovery through gamification strategies. **Methodology:** The virtual environment was developed using the Godot Engine and integrated with hardware comprising a NodeMCU ESP32 and an MPU6050 inertial sensor, combining accelerometer and gyroscope capabilities. The system captures patient movements in real-time and transmits data via Bluetooth Low Energy (BLE) to the platform, which processes gesture kinematics and maps them to in-game actions. **Results:** Preliminary results indicate signs of increased immersion and engagement, consistent with the patient’s flow state during the sessions, while providing physiotherapists with quantitative performance indicators, enabling personalized, playful, and data-driven clinical monitoring.

Keywords Exergames, Physiotherapy, Internet of Things

Resumo. Introdução: As sessões convencionais de fisioterapia frequentemente enfrentam desafios de adesão devido à natureza repetitiva dos exercícios e ao desconforto físico inerente ao processo de reabilitação. Nesse contexto, o uso de jogos sérios voltados a esse processo são uma possível solução dentro da informática médica. Dessa forma, espera-se que a adoção de um jogo sério com temática de futebol, profundamente enraizada na cultura brasileira, promova um engajamento superior nos pacientes, atuando como um forte estímulo motivacional que reduz a percepção de fadiga e o estresse emocional associados ao tratamento. **Objetivo:** Este projeto objetiva o desenvolvimento e a integração de um exergame de cobrança de pênaltis

à plataforma “PhysioGames”, visando otimizar a recuperação motora por meio de estratégias de gamificação. **Metodologia:** O ambiente virtual foi desenvolvido na Godot Engine e integrado a um hardware composto por um NodeMCU ESP32 e um sensor inercial MPU6050, combinando funcionalidades de acelerômetro e giroscópio. O sistema realiza a captura dos movimentos do paciente em tempo real, transmitindo os dados via Bluetooth Low Energy (BLE) para a plataforma, que processa a cinemática do gesto e a mapeia para ações dentro do ambiente virtual. **Resultados:** Os resultados preliminares indicam que a solução pode promover maior imersão e engajamento, compatíveis com o estado de flow do paciente nas sessões, ao mesmo tempo em que fornece aos fisioterapeutas indicadores quantitativos de desempenho, permitindo um acompanhamento clínico personalizado, lúdico e baseado em dados. **Palavras-Chave** Exergames, Fisioterapia e Internet of Things

1. Introdução

A tecnologia tem transformado processos anteriormente complexos em práticas mais ágeis e acessíveis. No campo da saúde, essa evolução é particularmente notável na fisioterapia, onde a tecnologia atua como um pilar essencial para o suporte na reabilitação física, especialmente em pacientes que sofreram amputações. Segundo [Lohse et al. 2013], apesar dos avanços nas técnicas de recuperação, a reabilitação tradicional frequentemente esbarra em obstáculos inerentes: a natureza repetitiva dos exercícios e o desconforto físico associado podem resultar em fadiga emocional e altas taxas de desistência dos pacientes.

Como uma possível solução, a área da informática médica, mais especificamente a área de jogos sérios surge como uma valiosa ferramenta, que utiliza o poder do processamento de dados e da computação gráfica para transformar o cuidado com a saúde. No contexto da reabilitação física, essa tecnologia atua como uma interface inteligente que converte movimentos corporais em comandos digitais, permitindo o monitoramento preciso e em tempo real do progresso do paciente. Ao integrar sistemas de hardware e software, a informática médica possibilita que os exercícios deixem de ser tarefas isoladas e passem a ser atividades assistidas por métricas clínicas, combatendo a fadiga emocional ao oferecer uma experiência lúdica que tenta diminuir o desconforto e estimular a continuidade do tratamento por meio de *feedbacks* visuais e auditivos imediatos.

Para mitigar esses desafios, emerge o conceito de exergames, jogos que combinam atividade física com entretenimento digital. A aplicação de jogos sérios no contexto fisioterapêutico representa uma mudança de paradigma, transformando sessões de terapia, muitas vezes monótonas e doloridas, em experiências envolventes e engajantes. Ao permitir que o paciente interaja com o ambiente virtual por meio de sensores de movimento, o exergame não apenas promove a manutenção da musculatura e a mobilidade, mas também induz o paciente ao estado de *flow*. Este estado psicológico, caracterizado pela imersão total e concentração intensa, é fundamental para reduzir a percepção de dor e esforço, aumentando a disposição do indivíduo perante o tratamento [Gromakovskis e Gūtmanis 2025].

O presente trabalho tem como objetivo principal a proposta de um jogo sério para a etapa de reabilitação física de membro inferior, que é um exergame de cobrança

de pênaltis que possa ser integrado à plataforma PhysioGames. A escolha da temática de futebol justifica-se pela profunda memória afetiva e valor cultural intrínseco na sociedade brasileira, fator que potencializa a conexão do paciente com a atividade proposta. Desenvolvido na Godot Engine, o jogo utiliza um nó sensor composto por um acelerômetro e giroscópio conectado a um NodeMCU ESP32. Esta configuração permite a captura precisa dos movimentos, cujos dados são processados e integrados à plataforma, enriquecendo o prontuário digital do paciente com métricas de engajamento e progresso funcional em tempo real.

A temática de futebol, ou seja, com o enfoque em membros inferiores, também está ligada ao fato da quantidade de amputações em membros inferiores ser superior a de membros superiores e afetar de forma negativa diretamente a autonomia e a qualidade de vida dos indivíduos. Conforme aponta [Peixoto et al. 2017], a predominância de procedimentos nos membros inferiores dentro da população gera um impacto severo na locomoção, uma vez que a perda de parte da base de sustentação do corpo compromete a mobilidade básica e a realização de atividades cotidianas. Nesse contexto, a utilização de uma temática esportiva e lúdica busca resgatar a motivação em um processo de reabilitação que, por natureza, é dificultado pelas limitações funcionais impostas pela amputação.

Dessa forma, esta pesquisa busca não apenas ampliar o escopo clínico da plataforma PhysioGames, mas também adicionar uma nova proposta ligada diretamente aos membros inferiores que é inédita no contexto do PhysioGames, promovendo autonomia, longevidade e uma recuperação mais efetiva em momentos de fragilidade física e estresse.

Por fim, este artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica que embasa o uso de exergames e sensores inerciais na reabilitação física; a Seção 3 discute os trabalhos correlatos; a Seção 4 apresenta a proposta do PhysioFut, detalhando seus materiais e o método de integração à plataforma PhysioGames; a Seção 5 descreve a metodologia dos experimentos; a Seção 6 expõe os resultados obtidos, a validação prática da solução em ambiente clínico e as discussões finais; e, por fim, a Seção 7 apresenta as conclusões do trabalho.

2. Fundamentação Teórica

A literatura aponta que a reabilitação física de pacientes com amputação exige uma atuação multidisciplinar rigorosa, focada na dessensibilização do coto, ganho de força muscular, treino de equilíbrio e propriocepção [Pastre et al. 2005]. Contudo, o caráter muitas vezes repetitivo e fisicamente desgastante das sessões convencionais pode comprometer a adesão do paciente, tornando necessária a implementação de estratégias que tornem o processo de recuperação mais dinâmico e menos focado na percepção de dor.

Nesse cenário, a computação aplicada à saúde surge como um facilitador, oferecendo ferramentas capazes de monitorar, estimular e quantificar o progresso clínico. Dentre essas ferramentas, destacam-se os Jogos Sérios (do inglês, *Serious Games*), que são aplicações computacionais desenvolvidas com um propósito primário que transcende o entretenimento, focando em áreas como treinamento, educação ou terapia.

Uma subcategoria dos jogos sérios, especificamente essencial para a fisioterapia,

são os Exergames. Estes são definidos como jogos eletrônicos que utilizam o esforço físico do usuário como interface de controle para interagir com o ambiente digital [Sinclair et al. 2007]. A eficácia dessa tecnologia repousa no *design* lúdico: ao integrar sensores inerciais que captam o movimento humano, os exergames ressignificam a terapia, deslocando o foco do indivíduo do esforço repetitivo para a superação de metas virtuais. Essa integração tecnológica permite que o movimento corporal seja traduzido em comandos de jogo, transformando o exercício físico em uma experiência imersiva e motivadora.

A concepção de exergames efetivos fundamenta-se na Teoria do Flow de Csikszentmihalyi [Csikszentmihalyi 1990], que preconiza o equilíbrio dinâmico entre o desafio imposto pelo sistema e a habilidade funcional do usuário. Em um contexto clínico, um jogo demasiadamente complexo gera ansiedade e frustração, enquanto um desafio irrisório resulta em tédio. Dessa forma, ao implementar mecânicas de gamificação com dificuldade adaptável, o sistema consegue manter o paciente na zona de engajamento ideal. Essa sinergia entre hardware inercial e *design* lúdico ressignifica a terapia: o foco do indivíduo é deslocado do esforço repetitivo para a superação de metas no ambiente virtual, maximizando a adesão extrínseca e a eficiência do protocolo de reabilitação.

3. Trabalhos Correlatos

Nos últimos anos, o interesse no uso de exergames para a reabilitação física aumentou significativamente devido ao seu potencial de aumentar o engajamento dos pacientes exergameRehabilitation. Estudos recentes como de [Rytterström et al. 2024], destacam que, embora a gamificação promova benefícios físicos e cognitivos, ela frequentemente esbarra em severas barreiras de usabilidade na prática clínica. Os autores apontam que a falta de familiaridade com os equipamentos, interfaces poluídas e controles complexos geram frustração, especialmente em adultos e idosos. Para que as intervenções sejam bem sucedidas e atinjam o estado de *flow*, a literatura enfatiza a necessidade de interfaces intuitivas, adaptação do desafio ao nível funcional do usuário e capacidade de monitorar o progresso de forma clara.

Nesse contexto, o uso de jogos sérios surge como uma estratégia para tornar essas atividades mais motivadoras. Trabalhos recentes reforçam essa tendência em diferentes contextos clínicos: [Larentis et al. 2024] propõe um jogo digital que utiliza hardware de captura de sopro para engajar pacientes em fisioterapia respiratória por meio de minijogos em cenários lúdicos; [Rodrigues et al. 2024] investiga o uso de uma luva eletrônica conectada a uma versão adaptada do Pac-Man para o treinamento de movimentos do punho em reabilitação motora de membros superiores; e [Azevedo et al. 2021] apresenta um jogo sério controlado por dispositivo vestível voltado a exercícios de membro inferior. Esses trabalhos compartilham a estratégia de substituir interfaces convencionais por dispositivos físicos acoplados ao corpo do paciente, reduzindo a barreira de entrada e direcionando a atenção ao movimento terapêutico em si. Contudo, nenhum deles integra a reabilitação de membros inferiores a uma plataforma de monitoramento clínico longitudinal voltada a pacientes com amputação, lacuna que o presente trabalho busca preencher.

4. Proposta de um jogo sério para reabilitação de membro inferior

A proposta de jogo denominada PhysioFut foi concebida com o objetivo de promover a imersão do paciente por meio da forte memória afetiva e cultural que a população brasileira possui com o futebol. O foco central do jogo é estimular a reabilitação física de membros inferiores por meio de uma competição lúdica de cobrança de pênaltis. A Figura 1 apresenta a cena principal do jogo PhysioFut.

O PhysioFut simula um ambiente de cobrança de pênaltis, onde o paciente assume o papel de bater. Para realizar o chute virtual, o usuário deve executar o movimento de balanço da perna, coto ou corpo, cuja intensidade e direção no jogo são calculadas a partir dos dados de aceleração e inclinação enviados pelo nó sensor, transformando o exercício de fortalecimento, coordenação e equilíbrio em uma atividade esportiva virtual competitiva e motivadora, podendo ser utilizado também na fase de protetização.

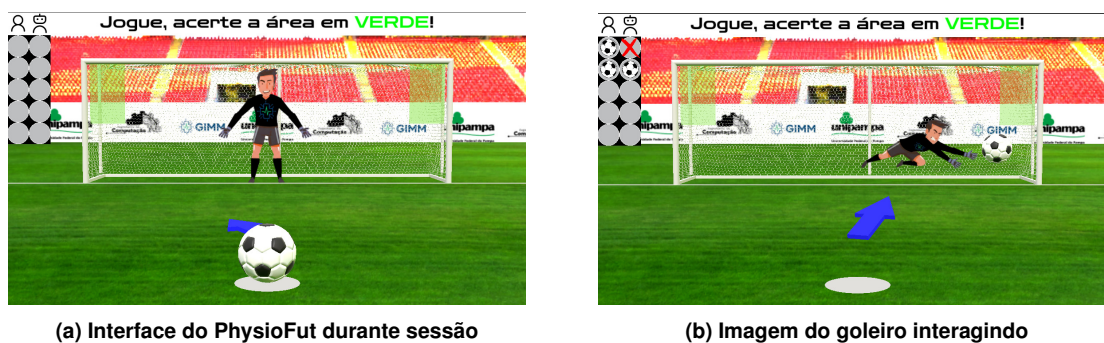


Figura 1. Imagens da Gameplay

Para auxiliar na precisão dos chutes, o jogo utiliza um sistema de mira representado visualmente sobre o gol. A mira se desloca automaticamente por toda área do gol, e o jogador deve sincronizar o movimento do chute com o posicionamento desejado. A direção e a intensidade do chute são determinadas a partir dos dados capturados pelo nó sensor, permitindo que o usuário escolha a trajetória da bola apenas com o movimento do chute. O goleiro presente no PhysioFut é um bot, programado para defender os chutes do paciente utilizando um sistema de alvos, onde o jogador deve acertar certas áreas do gol visando marcar, caso o jogador venha errar as áreas, o goleiro defende a bola e é marcado um erro de tentativa para o jogador.

Como em uma disputa de pênaltis temos duas equipes ou jogadores disputando quem faz mais gols, o adversário é um bot programado para competir contra o jogador, esse adversário é adaptável conforme a dificuldade imposta ao paciente. Facilitando assim a adaptabilidade para cada paciente.

Dentro do exergame existem estímulos sonoros e visuais que auxiliam o paciente na imersão e entrada no estado de *flow*, onde o ambiente que o jogador chuta a bola é um estádio de futebol e após o gol ou erro, alguns estímulos sonoros são ativados, como torcida gritando gol ou apreensiva pelo erro.

4.1. Ajuste de Dificuldade Adaptativo

Para garantir que o exercício se mantenha engajador, a gamificação estende-se para além das mecânicas individuais. Antes de iniciar a sessão, o fisioterapeuta pode configurar

o nível de dificuldade, sendo elas, fácil, médio, difícil e adaptada, que influenciará em parâmetros como a velocidade da mira, a área de defesa do goleiro e a sensibilidade do sensor para alinhar o desafio à capacidade funcional atual do paciente. Essa personalização atua como um reforço positivo imediato, sendo decisiva para induzir o paciente ao estado de *flow*. A dificuldade adaptada funciona de maneira a crescer conforme o desempenho do paciente. A cada 3 gols realizados pelo paciente, a dificuldade cresce, aumentando assim a velocidade da mira e área de defesa do goleiro. Em contrapartida, se o paciente erra 3 pênaltis, a dificuldade diminui.

4.2. PhysioGames

O exergame PhysioFut opera como uma solução integrada ao ecossistema PhysioGames, projetado para estabelecer um fluxo contínuo entre o exercício lúdico e a análise clínica estruturada. Enquanto o paciente interage com o ambiente virtual desenvolvido na Godot Engine, o nó sensor capta os movimentos e os transmite via Bluetooth com baixa latência. Essa arquitetura garante uma telemetria sem hardware proprietário de alto custo, enviando e armazenando automaticamente as métricas das sessões em um banco de dados em nuvem com persistência em tempo real.

Esse fluxo de dados consolida o principal diferencial do sistema: uma Plataforma Web de monitoramento que atua no apoio à tomada de decisão do fisioterapeuta. Ao traduzir o engajamento lúdico em evidências quantitativas, a plataforma gera gráficos analíticos longitudinais que detalham a evolução motora do paciente. Com essa visualização clara, o profissional pode substituir avaliações puramente subjetivas por um acompanhamento exato, retornando à cena de parametrização para ajustar dinamicamente a dificuldade do PhysioFut e assegurar uma terapia personalizada e alinhada à capacidade funcional do usuário.

4.2.1. Nó Sensor

A captura de movimento é realizada por um nó sensor composto por um NodeMCU ESP32 e um sensor inercial MPU6050, que integra acelerômetro e giroscópio, conectados por meio da interface I²C (Figura 2). Na inicialização, executa-se uma rotina de calibração que coleta amostras com o sensor em repouso para definir os valores de referência do acelerômetro. Durante a sessão, o nó sensor realiza uma leitura a cada 50 ms, a partir da qual o movimento é classificado em valores discretos que representam as direções do gesto. Esse valor é transmitido via comunicação Bluetooth Low Energy (BLE) ao PhysioGames, traduzindo o movimento fisioterapêutico em controle e dados do exergame.

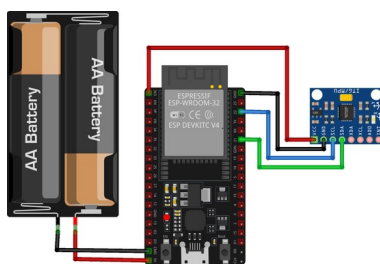


Figura 2. Diagrama do Nó Sensor

5. Metodologia dos Experimentos

A avaliação da solução foi conduzida em duas etapas. Inicialmente, o sistema passou por uma validação técnica em laboratório, voltada à verificação da captura de movimento, da comunicação entre o nó sensor e o jogo e da integração com a plataforma. Em seguida, avançou-se para uma validação em ambiente clínico real, com enfoque predominantemente qualitativo, uma vez que o número de participantes e a natureza exploratória do estudo não comportaram uma análise quantitativa aprofundada dos dados coletados.

A demanda por este ecossistema surgiu a partir da necessidade identificada no Serviço de Reabilitação Física (SRF) por ferramentas computacionais lúdicas que pudessem complementar a terapia convencional. A equipe de fisioterapia da unidade apontou a carência de soluções que unissem o monitoramento técnico à motivação intrínseca do paciente, especialmente em processos de longa duração como a reabilitação de pessoas com amputação.

A validação empírica foi realizada no próprio SRF, onde a seleção dos participantes foi conduzida pelos fisioterapeutas da instituição, que identificaram os perfis clínicos mais adequados e aptos ao uso da ferramenta com segurança. Por essa razão, adotou-se uma amostra por conveniência, cujo tamanho não foi definido previamente, mas determinado pela disponibilidade de participantes elegíveis no período do estudo. Todos os pacientes receberam explicação detalhada sobre os objetivos e procedimentos do projeto e, após concordância, assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa sob o número CAAE 95586026.2.0000.5323. O nó sensor foi fixado no coto do membro que sofreu a amputação, por meio de elásticos que permitiram a melhor fixação e captação das informações.

6. Resultados

Do ponto de vista técnico, a conexão Bluetooth manteve-se estável ao longo de todas as sessões de teste, sem quedas ou interferências que comprometessem a usabilidade. Os sensores demonstraram boa sensibilidade na captura dos movimentos para membros inferiores, traduzindo o balanço do membro ou coto monitorado em ações de chute no ambiente virtual sem atrasos perceptíveis. Do ponto de vista clínico, a ferramenta apresentou indícios promissores relacionados à imersão, ou seja, o paciente se manteve concentrado na atividade e realizou movimentos físicos de forma lúdica, sem perceber o esforço. Esse nível de engajamento é fundamental na reabilitação de amputados, pois desvia a atenção da dor ou do esforço repetitivo, garantindo que o paciente cumpra integralmente as metas de movimento e tempo de sessão estabelecidas pelo fisioterapeuta.

Além do controle fluido durante as partidas, a arquitetura de software demonstrou sua viabilidade por meio da sincronização automática dos dados de telemetria. A comunicação entre o jogo e a interface Web ocorreu de forma estável, garantindo que métricas fundamentais como pontuação, amplitude de movimento e duração do exercício fossem processadas, armazenadas e disponibilizadas em tempo real na nuvem, assegurando a integridade do fluxo de dados proposto. Dessa forma, a implementação do ecossistema produziu resultados promissores nas dimensões técnica e sistêmica.

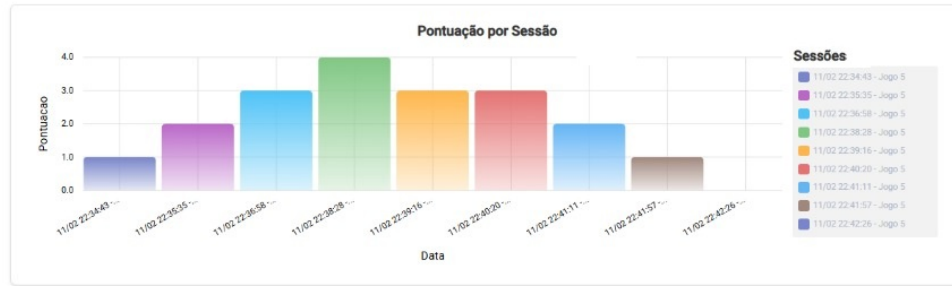
6.1. Validação Prática

Os experimentos conduzidos no ambiente do SRF tiveram como objetivo central testar a ferramenta sob condições reais e supervisão direta da fisioterapeuta responsável. Os testes incluíram pacientes com amputação transfemoral e transtibial em processo de pré-protetização. Em ambos os casos, o nó sensor foi acoplado com uma cinta elástica ajustável à extremidade do coto, o que garantiu a captura adequada do movimento independentemente do nível de amputação. A amostra foi composta por 6 pacientes, com idade média de 45 anos. Esse perfil foi escolhido para avaliar a sensibilidade do sistema em captar movimentos residuais sutis e sua contribuição para o fortalecimento muscular, a propriocepção e o equilíbrio. Durante o período de validação, cada participante realizou em média 6 sessões de jogo, com níveis de dificuldade ajustados entre fácil, médio e difícil conforme a evolução clínica individual. O engajamento foi observado por meio do acompanhamento direto da fisioterapeuta e das métricas registradas automaticamente pela plataforma, como pontuação, número de movimentos e duração das sessões. Em seguida, o paciente iniciava a interação com as dinâmicas de cobrança de pênalti do PhysioFut, conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 3. Pacientes testando a solução no SRF

Do ponto de vista da condução clínica, a tela de configuração de dificuldade mostrou-se um recurso indispensável para a fisioterapeuta. A capacidade de ajustar parâmetros de forma dinâmica permitiu um manejo terapêutico refinado, evitando a fadiga excessiva em pacientes com menor resistência e aumentando gradativamente o desafio para perfis mais avançados. Integrado a isso, é possível acessar aos gráficos longitudinais (Figura 4), na Figura 4a é possível observar as pontuações em cada sessão de um paciente, por outro lado, a Figura 4b é possível observar o número de movimentos entre diferentes sessões. Nesse sentido, no paciente apresentado, é possível observar a progressão nas primeiras sessões em relação às demais, indicando a possível adaptação motora e maior engajamento do paciente. A queda registrada nas sessões finais coincide com o aumento de dificuldade aplicado pela fisioterapeuta, evidenciando a dinâmica de desafio e superação proposta pelo sistema adaptativo.



(a) Gráfico de Pontuação por Partida



(b) Gráfico de Movimentos por Partida

Figura 4. Dados da Plataforma Sobre os Pacientes

No aspecto experiencial, o impacto qualitativo sobre os pacientes foi um aspecto relevante observado nos testes. Observou-se um aparente aumento no engajamento e na motivação em comparação com os protocolos de fisioterapia tradicional. Esse engajamento foi evidenciado por manifestações espontâneas de satisfação, incluindo sorrisos, comentários positivos e risos durante as interações com o PhysioFut, além dos *feedbacks* dos fisioterapeutas. A imersão proporcionada pela temática esportiva contribuiu para desviar o foco do esforço físico e da dor associados ao exercício, o que dá indícios de um comportamento similar ao estado de *flow*.

6.2. Discussões

Embora a solução tenha funcionado de forma estável na maioria das interações, identificou-se uma leve inconsistência técnica referente à recepção dos valores do nó sensor, pois como o sistema processava valores discretos pré-definidos, notou-se dificuldade no ajuste inicial para diferentes posturas de repouso. Como melhoria mapeada, a arquitetura será reestruturada para receber dados angulares contínuos, permitindo calibração personalizada a partir da postura de referência de cada paciente.

Sobre os achados clínicos, a concentração e a realização lúdica dos movimentos são condizentes com o engajamento esperado dos pacientes. Em comparação com a fisioterapia convencional, associada à fadiga e à baixa adesão [Lohse et al. 2013], observaram-se indícios de maior engajamento espontâneo. Assim como [Larentis et al. 2024], [Rodrigues et al. 2024] e [Azevedo et al. 2021], a proposta substitui a interface convencional por um dispositivo acoplado ao corpo; seu diferencial, contudo, está em direcionar-se a pessoa com amputação de membros inferiores e integrar-se a uma plataforma de monitoramento clínico longitudinal. Ressalta-se, porém, que se trata de um estudo piloto exploratório: os indícios de imersão e engajamento apoiam-se no *feedback* espontâneo dos pacientes e na observação clínica direta, sendo

desejável, em trabalhos futuros, complementá-los com instrumentos padronizados de *flow* e engajamento e com amostras maiores.

7. Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a integração do exergame PhysioFut à plataforma PhysioGames como uma abordagem inovadora para a reabilitação física de membros inferiores. Ao incorporar elementos de gamificação, temática cultural relevante e captura de movimento baseada em sensores inerciais de baixo custo, a solução demonstrou potencial para transformar sessões tradicionais de fisioterapia em experiências mais envolventes, motivadoras e orientadas por dados.

Os resultados obtidos, tanto técnicos quanto práticos, indicam que a arquitetura proposta é viável, estável e capaz de fornecer métricas relevantes para o acompanhamento clínico. A validação em ambiente real evidenciou indícios promissores de engajamento dos pacientes, além de oferecer suporte quantitativo à tomada de decisão dos fisioterapeutas, contribuindo para uma abordagem terapêutica mais personalizada e eficiente.

Apesar dos resultados positivos, foram identificadas limitações relacionadas à calibração inicial do sistema e à adaptação a diferentes biotipos, apontando oportunidades claras de aprimoramento. Trabalhos futuros incluem a implementação de calibração contínua baseada em dados angulares, expansão das mecânicas do jogo, além da realização de estudos clínicos mais amplos para avaliação quantitativa dos ganhos funcionais a longo prazo. Dessa forma, conclui-se que o PhysioFut, integrado ao ecossistema PhysioGames, representa uma solução promissora no contexto dos jogos sérios aplicados à saúde, contribuindo para a evolução das práticas de reabilitação física por meio da convergência entre tecnologia, ludicidade e monitoramento inteligente.

8. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Serviço de Reabilitação Física de Bagé-RS juntamente com seus fisioterapeutas e voluntários pelo apoio e pela cooperação essenciais durante a fase experimental deste estudo. Este trabalho foi financiado em parte pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) — Brasil.

Referências

- Azevedo, G. A. T., Blascovi-Assis, S. M., Tamura, L. H. B., Ferreira, D. R. d. M. J., e Corrêa, A. G. D. (2021). Um jogo sério controlado por dispositivo vestível para exercícios de inversão e eversão do pé. Workshop G2: Undergraduates. ISSN 2179-2259.
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. Harper & Row, New York.
- Gromakovskis, V. e Gūtmanis, M. (2025). Flow-induced analgesia: A conceptual review of biopsychosocial and neurobiological mechanisms of pain modulation. *Journal of Pain Research*.

- Larentis, A., de Carvalho, J., Bez, M., Silva, V., Kurtz, D., Franco, G., Gonçalves, L., e Goldas, E. (2024). Desenvolvimento de um jogo digital para motivar pacientes em tratamento através da fisioterapia respiratória. In *Anais Estendidos do XXIII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pages 217–222, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Lohse, K., Shirzad, N., Verster, A., Hodges, N., e Van der Loos, H. M. (2013). Video games and rehabilitation: using design principles to enhance engagement in physical therapy. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 37(4):166–175.
- Pastre, E. L., Kume, M., Carpes, F. P., e Mota, C. B. (2005). Amputação transtibial: revisão de literatura. *Arquivos de Ciências da Saúde*, 12(2):120–124.
- Peixoto, A. d. M., Zimpel, S. d. A., Oliveira, A. C. A. d., Monteiro, R. L. S., e Carneiro, T. K. G. (2017). Prevalência de amputações de membros superiores e inferiores no estado de alagoas atendidos pelo sus entre 2008 e 2015. *Fisioterapia e Pesquisa*, 24(4):378–384.
- Rodrigues, B., Silva, J. P., Goulart, G., Corrêa, A. G., e Blascovi-Assis, S. (2024). Jogo pac-man controlado por luva eletrônica para reabilitação motora de membros superiores: análise preliminar da experiência de jogo. In *Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pages 1685–1694, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Rytterström, P., Strömberg, A., Jaarsma, T., e Klompstra, L. (2024). Exergaming to increase physical activity in older adults: Feasibility and practical implications. *Current Heart Failure Reports*, 21(4):439–459.
- Sinclair, J., Hingston, P., e Masek, M. (2007). Considerations for the design of exergames. page 289–295.