

Fisioterapia Baseada em Jogos Sérios Utilizando Indicadores de Desempenho para Inferir o Estado de Flow

Title: *Serious Game-Based Physiotherapy Using Performance Indicators to Infer the Flow State*

Vitor Moreira¹, Érico Amaral¹, Julio Saraçol¹

¹Engenharia de Computação – Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)
Bagé – RS – Brazil

{vitormoreira}.aluno@unipampa.edu.br,

{ericoamaral, juliodomingues}@unipampa.edu.br

Abstract. **Introduction:** This study proposes a physical rehabilitation system based on serious games, combining gamification and motion sensors to induce the flow state in amputee patients. **Objective:** This work improves upon a previous version by attempting to address the lack of standardized engagement metrics in serious games. **Methodology:** The system integrates a wireless sensor, therapeutic games developed in the Godot engine, and an adaptive difficulty system using a proposed performance indicator. **Results:** Laboratory tests, conducted with the supervision of physiotherapists, validated its effectiveness, demonstrating that the performance metric detects patient progress and necessary difficulty adjustments, enabling inference of the flow state. **Conclusion:** Preliminary analyses confirm its potential for personalized therapy, increasing both motivation and effectiveness.

Keywords Serious games, Physical rehabilitation, Flow state, Physiotherapy.

Resumo. **Introdução:** Este trabalho propõe um sistema de reabilitação física baseado em jogos sérios, unindo gamificação e sensores de movimento para induzir o estado de flow em pacientes amputados. **Objetivo:** Este trabalho aprimora uma versão anterior tentando mitigar a carência de métricas padronizadas de engajamento em jogos sérios. **Metodologia:** O sistema integra um sensor sem fio, jogos terapêuticos desenvolvidos na engine Godot e um sistema adaptativo de dificuldade utilizando um indicador de desempenho proposto. **Resultados:** Testes em laboratório, com acompanhamento de fisioterapeutas, validaram sua eficácia, mostrando que a métrica de desempenho detecta progresso e ajustes necessários de dificuldade permitindo inferir o estado de flow. **Conclusão:** Análises preliminares confirmam seu potencial para terapia personalizada, aumentando motivação e eficácia.

Palavras-Chave Jogos sérios, Reabilitação Física, Estado de flow, Fisioterapia.

1. Introdução

A amputação representa um procedimento crítico que, embora muitas vezes salve vidas, impõe profundas transformações físicas e emocionais aos pacientes, seja decorrente de condições médicas, traumas ou acidentes. O período pós-operatório exige uma complexa

adaptação à nova realidade corporal, processo no qual a fisioterapia emerge como pilar fundamental para a recuperação funcional. Contudo, a reabilitação de pacientes amputados enfrenta obstáculos significativos, particularmente no aspecto motivacional. O trauma psicológico, somado às dificuldades inerentes ao processo, como a adaptação a próteses, a recuperação da mobilidade e o gerenciamento da dor, frequentemente leva à desistência das sessões terapêuticas. Muitos indivíduos lutam contra a frustração diante do progresso gradual, subestimando os benefícios cumulativos do tratamento. Diante desse cenário, a tecnologia surge como aliada estratégica para mitigar esses problemas. Soluções computacionais inovadoras, especialmente aquelas que incorporam elementos de engajamento e *feedback* promovendo um ambiente mais imersivo, demonstram potencial para revolucionar a abordagem tradicional, transformando a reabilitação em um processo mais interativo, mensurável e, sobretudo, motivador.

No contexto das soluções computacionais, os jogos sérios surgem como uma ferramenta inovadora no processo de reabilitação, combinando elementos lúdicos e terapêuticos para transformar exercícios convencionais em experiências interativas e motivadoras. Ao integrar mecânicas de jogo com objetivos terapêuticos específicos, essas tecnologias promovem maior adesão ao tratamento, uma vez que os pacientes se sentem mais engajados e menos focados na dor ou no caráter repetitivo dos exercícios. A imersão proporcionada pelos ambientes virtuais não apenas distrai o paciente do desconforto físico, mas também oferece *feedback* instantâneo sobre seu progresso, reforçando a sensação de conquista e estimulando a continuidade do tratamento. Além disso, os jogos sérios permitem a personalização das sessões, adaptando-se ao nível de habilidade e às limitações individuais, o que é especialmente relevante para pacientes amputados que enfrentam desafios únicos em sua reabilitação. A parametrização do estado de *flow* em sistemas gamificados de reabilitação motora constitui um avanço metodológico fundamental para a fisioterapia contemporânea. Ao transformar este conceito psicológico multidimensional em variáveis quantificáveis como tempo de engajamento contínuo, taxa de acertos motores e consistência de movimentos, cria-se um novo paradigma de avaliação terapêutica baseada em evidências. Esta abordagem permite: (1) a identificação precisa dos níveis ótimos de desafio para cada paciente; (2) a adaptação dinâmica dos protocolos de exercícios; e (3) a avaliação objetiva da eficácia da intervenção.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema gamificado de reabilitação motora para pacientes amputados, integrando sensores de movimento sem fio e jogos sérios para induzir e monitorar o estado de *flow* durante a terapia por meio de indicadores de desempenho. A abordagem visa superar os desafios de desmotivação e abandono do tratamento por meio de uma plataforma interativa que transforma exercícios convencionais em experiências lúdicas e personalizadas. O sistema utiliza métricas quantitativas para avaliar o engajamento do paciente, adaptando dinamicamente a dificuldade dos exercícios com base no desempenho e no estado de *flow* detectado. Além disso, a solução incorpora *feedback* visual em tempo real e elementos de gamificação para aumentar a adesão ao tratamento, oferecendo aos fisioterapeutas uma ferramenta objetiva para monitorar o progresso e ajustar os protocolos de reabilitação de forma mais eficaz.

O trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os principais conceitos para o melhor entendimento do projeto. A Seção 3 descreve a solução proposta e as melhorias propostas no sistema para inferir o estado de *flow*. Por fim, na Seção 4

são apresentadas as avaliações iniciais realizadas e a validação com os *stakeholders* do projeto, bem como na Seção 5 são apresentadas as conclusões do trabalho e perspectivas futuras.

2. Referencial Teórico

A amputação é definida como a remoção total ou parcial de um membro do corpo, seja por meio de cirurgia, trauma ou doença. É um procedimento delicado que pode ter um impacto significativo tanto no bem-estar físico quanto psicológico do paciente. A decisão sobre o nível de amputação é crucial, pois busca maximizar a reabilitação, qualidade de vida e futura protetização do paciente [Diretoria de Saúde do Trabalhador 2017], [Boccolini 2001], [Duarte et al. 2006] e [Ferreira et al. 2017]. A reabilitação física é crucial para a recuperação de amputados, ajudando-os a readquirir capacidade funcional, independência e qualidade de vida. Por meio de exercícios terapêuticos, treinamento de marcha e uso de próteses, busca-se adaptar o paciente às suas limitações, além de prevenir atrofia muscular e promover fortalecimento [Lisboa 2017, de Saúde Fisioterapia Oeiras 2023, Lambert 2023, Pastre et al. 2005]. Técnicas de controle da dor e mobilização precoce complementam esse processo, visando uma recuperação integral.

Neste contexto, os avanços tecnológicos têm transformado a informática médica em ferramenta indispensável, aplicando soluções inovadoras que vão desde o diagnóstico até o acompanhamento personalizado de pacientes. Dentre essas inovações, destacam-se os jogos sérios, que combinados com o conceito de estado de *flow* [Burgada 2022], promovem imersão e engajamento durante exercícios de fortalecimento muscular, equilíbrio e coordenação motora. O conceito de *flow*, desenvolvido pelo psicólogo Csikszentmihalyi (1990), descreve um estado de imersão total em uma atividade, caracterizado por foco intenso, equilíbrio entre desafio e habilidade, e perda da noção do tempo. Esse estado psicológico ótimo, quando alcançado durante a reabilitação, pode potencializar tanto o engajamento do paciente, quanto os resultados terapêuticos, tornando-se um componente fundamental no desenvolvimento de sistemas gamificados de fisioterapia. A aplicação deste conceito no contexto de reabilitação motora permitiu transformar exercícios convencionais em experiências mais envolventes e motivadoras, alinhando-se com os princípios de uma recuperação centrada no paciente.

Complementando esta abordagem, sistemas embarcados integram hardware e software especializados para capturar movimentos em tempo real por meio de sensores, oferecendo *feedback* imediato e dados precisos que permitem personalizar as terapias de forma mais eficiente, revolucionando assim os métodos tradicionais de reabilitação física. Hashim et al. (2019) demonstraram que jogos sérios melhoram significativamente a motivação e os resultados na reabilitação de amputados, com aumento de 7,1% na força muscular após treino com jogos como Fruit Ninja. Seus achados reforçam a eficácia de sistemas gamificados, corroborando a abordagem do PhysioGames 2.0 ao mostrar que elementos lúdicos e *feedback* imediato potencializam o engajamento terapêutico.

3. PhysioGames 2.0

O trabalho inicial, desenvolvido por [Pinheiro 2021] , apresentava um fluxo de trabalho completo que integrava dispositivos móveis, placas de prototipação e um ambiente de

jogo interativo desenvolvido em Unity. Inicialmente, um aplicativo móvel desenvolvido em Flutter, que capturava as informações de movimentação do *smartphone* e enviava via Bluetooth para um nó sensor. Esse nó sensor, por sua vez, processava os dados de movimentação e os enviava por meio de uma comunicação serial para um jogo desenvolvido na engine Unity. Após testes e *feedbacks* dos *stakeholders* do projeto e da comunidade científica, foi possível identificar que a arquitetura utilizando o dispositivo *smartphone* poderia ser otimizada com a construção de um nó sensor específico, tornando o fluxo de funcionamento mais simples e de baixo custo. Este trabalho propõe os seguintes aprimoramentos no ambiente: o desenvolvimento de um novo nó sensor, indicadores de desempenho para melhor quantificar o engajamento dos pacientes nas sessões e inferir o estado de *flow*, assim como diferentes mecanismos de jogos com o objetivo de melhorar a jogabilidade e promover o estado de *flow* do jogador. O novo *workflow* introduz a integração com uma base de dados e uma solução WebApp, além da migração do jogo para a *engine* Godot, de código aberto.

Após a refatoração, a nova abordagem se inicia com a captura dos dados de movimentação do paciente por meio de um módulo giroscópio e acelerômetro. Esses dados são processados por um NodeMCU ESP32, que os envia via comunicação Bluetooth para o dispositivo que está executando o jogo (seja um desktop ou um dispositivo *single-board*). O dispositivo, por sua vez, interpreta os dados coletados e os utiliza para controlar o jogador dentro do jogo desenvolvido na *engine* Godot. A nova arquitetura proposta pode ser vista na Figura 1(a).

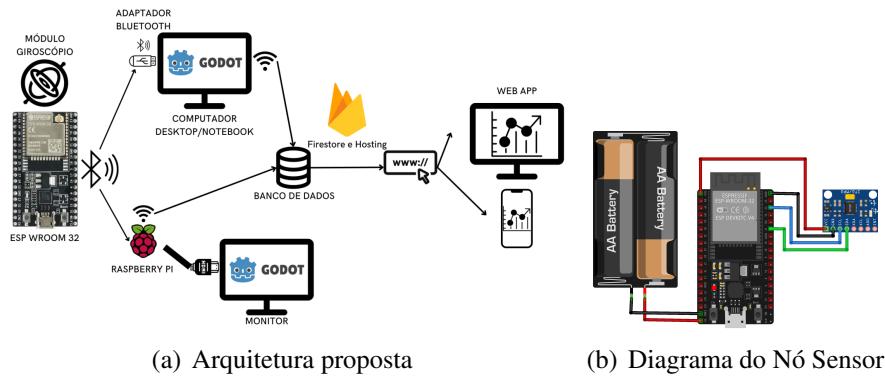


Figura 1. Arquitetura Proposta e Diagrama de Ligação do Nô Sensor

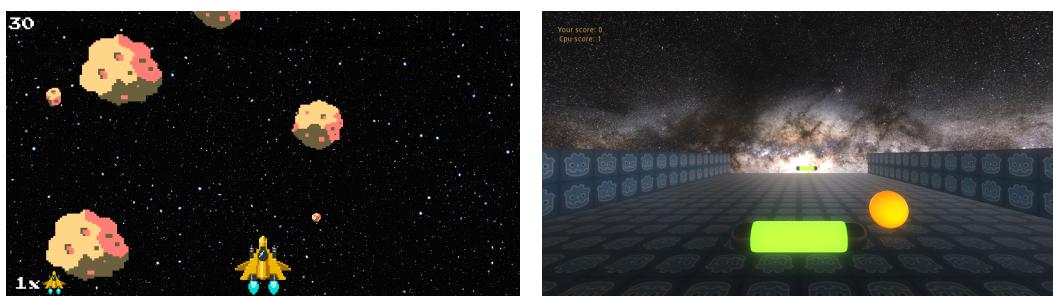
A substituição da *engine* Unity pela Godot, se deu por oferecer um desenvolvimento mais intuitivo, documentado e com maior gama de compilações para diferentes arquiteturas de processadores, principalmente a arquitetura ARM64, a qual é utilizada nas *singles-boards* como Raspberry Pi, plataforma foco da proposta. O sistema construído na *engine* Godot, permite o *login* de paciente, podendo assim registrar os dados das sessões. O paciente pode escolher entre dois jogos: AsteroidTerapia e PongTerapia, ambos com movimentação horizontal do jogador, movimentação da qual é capturada por meio do nó sensor, constituído de um NodeMCU ESP32 e um sensor MPU6050, visando uma experiência interativa e imersiva. Ao final de cada sessão, os dados coletados (pontuação, tempo de duração e quantidade de movimentos) são enviados para uma base de dados, permitindo o armazenamento dos dados para a análise do progresso do paciente por meio do WebApp.

3.1. Nô Sensor

O nô sensor foi idealizado para ser pequeno e portátil, para que não afete a movimentação do paciente, ao mesmo tempo que seja capaz de capturar todos os dados esperados, sem o uso de fios ou conexões físicas. Nesse sentido, a comunicação Bluetooth foi um fator determinante para a escolha da placa de desenvolvimento, o NodeMCU ESP32 escolhido por possuir comunicação Bluetooth Low Energy (BLE), o que garante maior autonomia ao dispositivo. Da mesma forma, tendo em vista que a proposta necessita de todos os tipos de movimentação que o paciente possa vir a realizar, o *shield* MPU6050 foi o sensor escolhido. Isso devido a sua combinação de giroscópio e acelerômetro, que realiza capturas de movimentos no três eixos (X, Y e Z). Este sensor, combinado com o ESP32, são essências para traduzir os movimentos do paciente em comandos no jogo, permitindo uma experiência interativa e imersiva permitindo que os dados de movimentação sejam enviados em tempo real via Bluetooth. A Figura 1(b) apresenta o esquema de ligação do nô sensor.

3.2. AsteroidTerapia e FisioPong

Os jogos AsteroidTerapia e PongTerapia foram desenvolvidos com o objetivo de instigar o paciente e induzir o estado de *flow* durante a atividade física da sessão de reabilitação. Para induzir o paciente a alcançar esse estado, foi implementado um sistema de níveis e dificuldades, elementos gráficos, efeitos sonoros e *feedback* visual imediato. No AsteroidTerapia, o paciente controla uma nave espacial que deve desviar e destruir asteroides em movimento. A movimentação horizontal da nave é controlada pelos movimentos do paciente, capturados pelo sensor MPU6050, e os tiros são efetuados de forma automática e sincronizada. A cada asteroide destruído, o paciente ganha pontos. A trilha sonora e os efeitos sonoros foram projetados para manter o paciente engajado e motivado. No caso do PongTerapia, o jogo foi baseado na versão disponível em [AdilsonThiago 2022] com pequenas modificações. Nesse caso, o paciente controla uma raquete que deve rebater uma bola em movimento. Assim como no jogo anterior, a movimentação da raquete é controlada pelos movimentos do paciente com o nô sensor. O jogo também oferece um sistema de pontuação que aumenta conforme o paciente consegue rebater a bola, além de efeitos sonoros e visuais que reforçam a sensação de progresso e conquista. A Figura 2 apresenta a cena dos dois jogos propostos.



(a) Cena do jogo AsteroidTerapia

(b) Cena do jogo PongTerapia

Figura 2. Cenas dos Jogos Propostos

4. Sistema de Pontuação e Autoajuste

Ambos os jogos foram projetados para que possuam uma curva de aprendizado suave que permita ao paciente se familiarizar rapidamente com os controles. A combinação de elementos como música, pontuação e *feedback* visual, aliados a uma forma de calcular o indicador de desempenho e controle de dificuldade busca criar uma experiência imersiva que não apenas auxilia na reabilitação física, mas também promove o engajamento e a motivação do paciente, elementos essenciais para o sucesso do tratamento.

Após o fim da partida, a sessão é encerrada e os dados coletados são enviados para a base de dados. Atualmente, são capturados três tipos de dados essenciais para a análise e acompanhamento do progresso do paciente, são eles:

- **Pontuação:** Reflete o desempenho do paciente durante a sessão de fisioterapia. A pontuação é um valor que é incrementado em 100 a cada vez que o paciente acerta o objetivo do jogo. Este dado é de suma importância, pois é um dos elementos utilizados para o cálculo do indicador de desempenho do paciente.
- **Tempo:** Registra a duração, em segundos, do total da sessão, desde o início até a conclusão. Esse dado pode monitorar a adesão do paciente ao tratamento e, também, sendo um componente no indicador de desempenho proposto.
- **Movimentos:** Captura a quantidade de movimentos realizados pelo paciente durante a sessão. Esse dado ajuda a avaliar a frequência e a consistência dos exercícios, fornecendo *insights* sobre o esforço físico aplicado e a progressão do paciente em relação aos objetivos terapêuticos.
- **Nível:** Indica a dificuldade dos objetos do jogo que o paciente está realizando durante a sessão. Esse dado é importante para acompanhar a progressão do paciente, permitindo o controle da dificuldade. Níveis mais altos podem indicar maior complexidade e intensidade da necessidade de movimentos, refletindo a melhora nas habilidades motoras ou na resistência do paciente.

4.1. Indicador de Desempenho de Pacientes

Para inferir e quantificar o estado de *flow* do paciente durante as sessões de fisioterapia, foi desenvolvida uma métrica de desempenho que combina os dados coletados (movimentos, pontuação e tempo) em uma única medida. Essa abordagem visa uma avaliação padronizada do engajamento e da evolução do paciente, facilitando a comparação entre sessões e a personalização do tratamento. O indicador desenvolvido foi proposto em conjunto com os fisioterapeutas do projeto com o objetivo de considerar diferentes variáveis para a atividade. A fórmula proposta para o cálculo do desempenho está definida em (1). Onde: **Movimentos (50% da ponderação):** Representa o esforço físico do paciente (quantidade de movimentos capturados pelo nó sensor), sendo o fator de maior peso devido à sua relevância direta na reabilitação motora. **Pontuação (20% da ponderação):** Reflete a precisão e eficácia dos movimentos, indicando uma compreensão e habilidade no jogo selecionado. **Tempo (30% da ponderação):** Correlaciona-se com a persistência e adesão à sessão, fatores críticos para induzir ao estado de *flow*.

$$\text{Desempenho} = \frac{(0.5 \times \text{movimentos}) + (0.2 \times \text{pontuação}) + (0.3 \times \text{tempo})}{100} \quad (1)$$

A escolha dos pesos de cada variável foi levando em consideração os objetivos do processo de reabilitação. Neste caso, a movimentação é o principal objetivo, logo possui o maior peso, em segundo a variável de tempo, que é um indicador de quanto o jogador está interessado na atividade. Pode refletir a medida de engajamento do paciente na sessão. Por fim, a pontuação é considerada representando a habilidade que o paciente possuí no jogo, fator do qual indica a adaptação a dificuldade do jogo.

A divisão por 100 normaliza o resultado, permitindo uma interpretação intuitiva em uma escala percentual. Valores entre 4 e 7 indicam maior engajamento e potencial estado de *flow*, significando que o paciente está se exercitando e engajado na atividade. Por outro lado, valores abaixo ou acima desses intervalos podem indicar que o paciente está tendo muita dificuldade ou facilidade, sendo um sinal para a desmotivação ou tédio, estados dos quais podem diminuir a eficácia da abordagem. A eficácia dessa fórmula reside em sua capacidade de traduzir aspectos qualitativos do engajamento do paciente, como concentração, equilíbrio entre desafio e habilidade, e *feedback* imediato, em valores quantitativos, permitindo inferir se o paciente foi induzido ao estafe de *flow* ou não.

4.2. Autoajuste

Na prática, o sistema implementa um mecanismo de autoajuste adaptativo que modifica dinamicamente os parâmetros do jogo durante a sessão terapêutica, garantindo que o nível de desafio se mantenha sempre adequado às capacidades do paciente. No jogo AsteroidTerapia, a velocidade dos meteoros aumenta progressivamente conforme o paciente demonstra maior precisão nos movimentos, enquanto o tamanho dos alvos diminui gradualmente para exigir movimentos mais refinados. Simultaneamente, a frequência de aparecimento dos meteoros se intensifica de acordo com a evolução da sessão, criando um desafio crescente e personalizado. Para o PongTerapia, o sistema ajusta continuamente a velocidade da bola conforme a capacidade de reação do paciente, equilibrando a dificuldade em tempo real. A habilidade do adversário virtual aumenta proporcionalmente ao desempenho demonstrado, e o tamanho da raquete pode ser reduzido para oferecer desafios mais complexos quando o paciente mostra domínio dos movimentos. Esses ajustes ocorrem de forma sutil, mantendo a imersão do jogador enquanto promovem o desenvolvimento motor. Os benefícios da métrica são:

- **Sensibilidade à Evolução:** Pacientes em estágios iniciais tendem a apresentar valores baixos de pontuação e movimentos, mas com aumento gradual conforme ganham proficiência.
- **Adaptabilidade:** A ponderação diferenciada prioriza o esforço físico (50%) sem subestimar a consistência (tempo) e a qualidade do movimento (pontuação).
- **Diagnóstico:** Valores atípicos, como tempo alto com pontuação baixa, podem indicar frustração ou dificuldade não detectadas visualmente.

Este sistema adaptativo processa continuamente os dados de desempenho, realizando ajustes na dinâmica do jogo com o objetivo de manter o paciente na “zona de *flow*” ideal para reabilitação. O desafio é sempre mantido ligeiramente acima da capacidade atual do usuário, promovendo aprendizado e desenvolvimento motor sem causar frustração ou desmotivação. A abordagem garante que cada sessão seja única e personalizada, maximizando tanto o engajamento quanto os resultados terapêuticos.

5. Resultados e Discussões

A proposta foi testada em ambiente controlado, com o objetivo de validar sua funcionalidade e usabilidade no auxílio do monitoramento do estado de *flow* e na reabilitação de pacientes amputados. Os dados coletados durante os testes foram analisados para avaliar o desempenho do sistema em termos de usabilidade, precisão na coleta de dados. Esses experimentos foram executados em dois momentos, o primeiro em laboratório considerando os aspectos funcionais e o segundo em campo com os fisioterapeutas envolvidos no projeto. Não foi possível o teste com pacientes, pois está em processo de ajuste para total aprovação do Conselho de Ética, mas já cadastrado na plataforma Brasil com o número CAAE: 83409524.7.0000.5323.

Inicialmente foram efetuados experimentos funcionais em laboratório com o objetivo de garantir o pleno funcionamento do sistema proposto e seus componentes. Essa fase apresentou diversos desafios. Com a garantia do sistema em pleno funcionamento, foram efetuadas avaliações com os *stakeholders* do projeto, os fisioterapeutas.

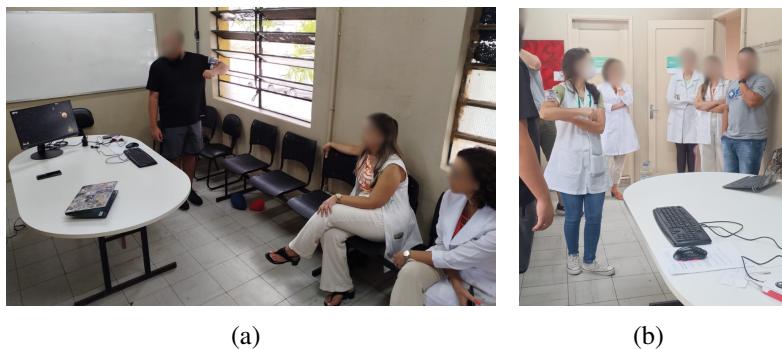


Figura 3. Apresentação e Testes da Ferramenta para os Fisioterapeutas.

5.1. Validação dos Fisioterapeutas

A plataforma foi submetida a uma avaliação qualitativa com quatro fisioterapeutas, cujos *feedbacks* foram essenciais para validar sua aplicabilidade clínica (Figura 3(a) e 3(b)). Durante as sessões de teste, os profissionais interagiram com o sistema completo, desde a utilização do nó sensor até a análise de dados via WebApp, demonstrando especial interesse na praticidade da ferramenta para monitoramento remoto. Os fisioterapeutas destacaram a interface intuitiva dos jogos e a eficácia do *feedback* visual em tempo real, que facilita a correção postural durante os exercícios. Entretanto, apontaram a necessidade de incluir tutoriais rápidos para usuários menos familiarizados com tecnologia, além de sugerirem a expansão dos jogos para membros inferiores – demanda já incorporada ao planejamento de versões futuras. A análise pelo modelo TAM (do inglês *Technology Acceptance Model*) revelou alta taxa de aceitação, com 100% dos avaliadores afirmado que adotariam a plataforma em suas rotinas, principalmente pela capacidade de personalizar terapias e quantificar progressos. Críticas pontuais, como ajustes na curva de dificuldade dos jogos, foram registradas como oportunidades de melhoria, reforçando a importância da abordagem iterativa no desenvolvimento de tecnologias para saúde.

5.2. Validação da Métrica do Estado de Flow

Após a avaliação com os fisioterapeutas, e a partir desse *feedback* a métrica quantitativa do desempenho que permite inferir o estado de *flow* foi desenvolvida. Sendo possível

utilizar o desempenho como uma ferramenta fundamental para transformar um conceito psicológico abstrato em parâmetros clínicos mensuráveis, permitindo aos terapeutas avaliar objetivamente o engajamento dos pacientes durante as sessões de reabilitação. Ao estabelecer critérios precisos baseados em dados reais de desempenho, essa abordagem inovadora oferece uma base científica para personalizar e otimizar os protocolos terapêuticos, superando as limitações das avaliações subjetivas tradicionais.

O desenvolvimento desta métrica partiu da análise retrospectiva de sessões anteriores, onde padrões claros emergiram ao correlacionar variáveis como tempo de atividade, precisão motora e frequência de movimentos com os relatos subjetivos de imersão e satisfação dos pacientes. Os dados históricos serviram não apenas para calibrar os pesos relativos de cada componente da métrica, mas também para identificar os limiares ideais que podem caracterizar o estado de *flow* em diferentes fases da reabilitação. Essa validação empírica revelou, por exemplo, que pacientes em estágios iniciais tendem a alcançar o estado ótimo com valores ligeiramente inferiores aos de pacientes mais avançados, um *insight* crucial para a adaptação progressiva dos desafios terapêuticos. A riqueza desses dados retrospectivos permitiu ainda detectar padrões sutis de desengajamento que frequentemente precedem a desistência do tratamento, possibilitando intervenções precoces. A Figura 4 apresenta gráfico com um exemplo de resultados baseados no indicador de desempenho.

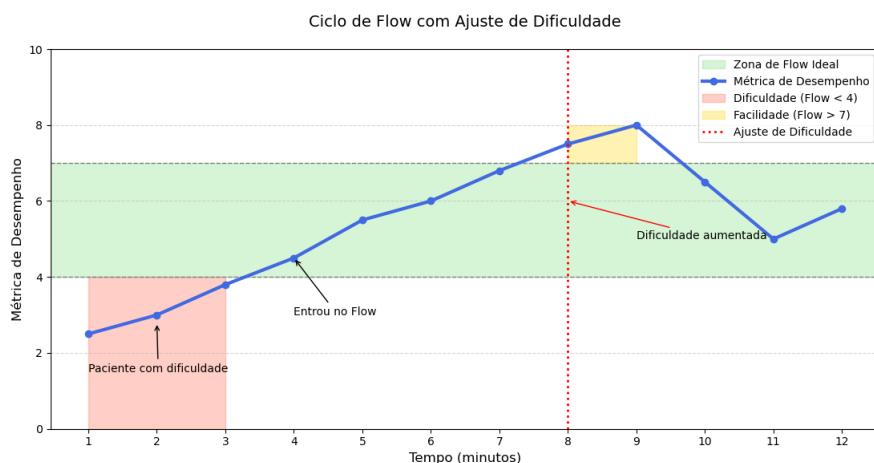


Figura 4. Exemplo do Indicador de Desempenho em Relação ao Sistema de Autoajuste

O gráfico apresentado na Figura 4 ilustra a evolução do indicador de desempenho de um paciente ao longo de uma sessão. No início da atividade, observa-se um valor reduzido para o indicador, o que indica que o paciente encontrava dificuldade para interagir com o jogo, situando-se, portanto, no nível de dificuldade fácil. À medida que a pontuação se eleva e atinge o valor 4, o paciente adentra a denominada no que é considerado zona de *flow*, caracterizada pelo equilíbrio entre o desafio proposto e as habilidades do paciente. No entanto, quando a pontuação ultrapassa o valor 7, há uma indicação de que o jogo se tornou fácil, sugerindo que o paciente não está sendo suficientemente desafiado, o que limita o estímulo da atividade. Essa condição pode comprometer a eficácia da atividade, uma vez que a ausência de desafios reduz tanto o engajamento quanto o potencial de progresso do paciente. Para mitigar essa situação,

o sistema realiza automaticamente um ajuste no nível de dificuldade. Após esse ajuste, observa-se o retorno da métrica para a faixa ideal (valores entre 4 e 7), indicando que o paciente voltou a ser adequadamente desafiado e motivado durante a atividade.

A aplicação prática da métrica se manifesta por meio de ajustes dinâmicos nos elementos dos jogos, que vão desde a velocidade dos objetos até a complexidade dos padrões de movimento requeridos. No AsteroidTerapia, por exemplo, a métrica controla não apenas a frequência de aparecimento dos asteroídes, mas também sua trajetória e tamanho, criando um equilíbrio cuidadoso entre desafio e capacidade que mantém o paciente na zona ideal de desempenho. Essas modificações são calculadas em tempo real por um algoritmo que interpreta continuamente o fluxo de dados do sensor, garantindo que cada ajuste seja sutil e suficiente para não interromper a imersão, mas significativo o bastante para manter o estímulo e o engajamento. A inovação do sistema reside em sua capacidade de adaptação instantânea, que funciona como um parceiro virtual sensível às mínimas variações no estado do paciente. Quando os indicadores começam a sugerir desengajamento, o jogo pode, por exemplo, introduzir elementos motivacionais adicionais ou ajustar levemente a dificuldade, tudo isso sem interromper o fluxo da atividade. A precisão desses ajustes automáticos foi validada atualmente em testes de laboratório. A implementação final do sistema em contexto clínico permitirá avaliar com maior precisão o impacto dessas adaptações dinâmicas no engajamento e nos resultados terapêuticos dos pacientes.

6. Conclusão

Os aprimoramentos deste sistema para reabilitação de pacientes amputados utilizando jogos sérios representa uma abordagem integrada entre tecnologia e fisioterapia com resultados promissores. Ao propor uma métrica quantitativa para avaliar o desempenho e com isso ser capaz de inferir estado de *flow* do paciente, o trabalho cria uma alternativa importante sobre os métodos tradicionais de reabilitação. Nesse sentido, oferece aos profissionais de saúde uma ferramenta objetiva para mensurar o engajamento dos pacientes. A arquitetura do sistema, composta por sensores sem fio, jogos terapêuticos adaptativos e uma plataforma de análise de dados, demonstrou em testes preliminares sua capacidade de manter os usuários motivados por meio de ajustes dinâmicos de dificuldade. Os resultados obtidos com fisioterapeutas foram particularmente encorajadores, indicando alta aceitação da tecnologia e reconhecimento de seu potencial para transformar a prática clínica. A métrica proposta mostrou-se sensível e suficiente para detectar variações no desempenho e no engajamento, permitindo intervenções personalizadas em tempo real. Embora os testes com pacientes ainda estejam em fase de aprovação, a validação técnica e a receptividade dos profissionais sugerem que o sistema pode efetivamente contribuir para reduzir as taxas de abandono do tratamento e melhorar os resultados da reabilitação física.

Como trabalhos futuros, destacam-se a expansão dos jogos para membros inferiores, o refinamento da métrica com base em dados clínicos reais e a integração de técnicas de inteligência artificial para otimização automática dos protocolos terapêuticos. Esta pesquisa abre novas perspectivas para o desenvolvimento de tecnologias assistivas que combinem precisão científica com engajamento do paciente na reabilitação motora personalizada.

Referências

- AdilsonThiago (2022). Ping-pong. <https://github.com/AdilsonThiago/Ping-Pong>.
- Boccolini, F. (2001). *Reabilitação: amputados, amputações e próteses*. Robe Livraria e Editora, São Paulo.
- Burgada, B. B. (2022). ‘estado de flow’: el estado mental de máxima motivación, ¿cómo puedes alcanzarlo?
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. Harper & Row, New York.
- de Saúde Fisioterapia Oeiras, S. (2023). Reabilitação física.
- Diretoria de Saúde do Trabalhador (2017). *Manual sobre Prescrição de Órteses, Próteses Ortopédicas não Implantáveis e Meios Auxiliares de Locomoção*. Instituto Nacional do Seguro Social, Brasília. Disponível em <<https://extra268.files.wordpress.com/2017/10/rs611presinssmanual1.pdf>>. Visitado em Maio, 2023.
- Duarte, B. M. A., M., S. H., T., C. R. S., S., M., D., C.-S. C., e A., V.-S. R. (2006). Avaliação do equilíbrio estático em indivíduos amputados de membros inferiores através da biofotogrametria computadorizada. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 10(1).
- Ferreira, G. G., de Souza Ferreira, L. A., e Calazans, M. C. L. R. (2017). Identificação das causas de amputação de membros nas estratégias de saúde da família do município de santa fé do sul-sp. *UNIFUNEC CIÊNCIAS DA SAÚDE E BIOLÓGICAS*, 1(1):65–71.
- Hashim, N. A., Razak, N. A. A., Gholizadeh, H., e Osman, N. A. A. (2019). Video game-based rehabilitation approach for individuals who have undergone upper limb amputation: Case-control study.
- Lambert, C. (2023). Conheça as diferenças entre reabilitação e fisioterapia.
- Lisboa, C. F. (2017). Reabilitação física fisioterapia.
- Pastre, C. M., Salioni, J. F., Oliveira, B. A., Micheletto, M., e Júnior, J. N. (2005). Fisioterapia e amputação transtibial. *Arq Ciênc Saúde*, 12(2):120–4.
- Pinheiro, A. N. L. (2021). Proposta de solução no apoio de sessões de fisioterapia para amputados baseada em gamificação.