

Fisioterapia em RV: Design de Jogo e Análise de Movimento com Unity e Meta SDK

Eucila Gisele Silva de Freitas
Centro Universitário Estácio de Belém
Belém, Pará, Brasil

Clara de Aquino Rodrigues
Centro Universitário Estácio de Belém
Belém, Pará, Brasil

Tobias Moraes de Souza
Centro Universitário Estácio de Belém
Belém, Pará, Brasil

Ramon Costa de Lima
Centro Universitário Estácio de Belém
Fisioterapia
Belém, Pará, Brasil

Marcos César da Rocha Seruffo
Universidade Federal do Pará (UFPA)
Belém, Pará, Brasil

Diego Lisboa Cardoso
Universidade Federal do Pará (UFPA)
Brasil

Frederico Guilherme Santana
da Silva Filho
Centro Universitário Estácio de Belém
Belém, Pará, Brasil

1 Introdução

A reabilitação motora de membros superiores em pacientes pós-AVC é um processo que exige consistência e alta adesão para alcançar resultados clínicos significativos [24]. No entanto, a natureza repetitiva dos exercícios convencionais frequentemente resulta em baixa motivação e abandono do tratamento, com taxas de adesão inferiores a 50% em programas domiciliares [5]. Simultaneamente, a avaliação objetiva do progresso motor permanece um desafio, dependendo majoritariamente de escalas subjetivas aplicadas pelo fisioterapeuta [22].

Este trabalho, desenvolvido no âmbito de um projeto de Iniciação Científica (PIBIC), propõe o **ReabilitaVR**, um jogo sério em Realidade Virtual (RV) imersiva que integra gamificação fundamentada em teorias motivacionais [11–13] com análise cinemática objetiva de movimentos. Desenvolvido em Unity com Meta Quest 3 SDK, o sistema transforma exercícios terapêuticos em experiências interativas e motivadoras, enquanto captura métricas biomecânicas precisas—velocidade, precisão e amplitude de movimento (ADM)—para monitoramento quantitativo do progresso pelo fisioterapeuta [1].

A escolha de um dispositivo de RV *standalone* (Meta Quest 3) é estratégica: elimina a necessidade de computador auxiliar e cabos, proporcionando portabilidade, acessibilidade e liberdade de movimento essenciais ao contexto clínico [9]. Revisões sistemáticas recentes demonstram que intervenções baseadas em RV imersiva melhoram significativamente a recuperação motora e o engajamento de pacientes em reabilitação de membros superiores [16, 24].

Objetivo: Este resumo expandido apresenta o design de jogo, a arquitetura técnica e o sistema integrado de análise biomecânica do ReabilitaVR, contribuindo para o campo da neuroreabilitação com uma plataforma escalável que aborda simultaneamente os desafios de adesão ao tratamento e avaliação objetiva de resultados.

1.1 Síntese Bibliométrica Multidimensional

A fundamentação teórica deste trabalho baseia-se em uma seleção estratégica de 24 referências de alto impacto científico, publicadas entre 1990 e 2025, abrangendo realidade virtual, gamificação e reabilitação de membros superiores. A Figura 1 apresenta uma análise

multidimensional do corpus bibliográfico segundo sete dimensões principais.

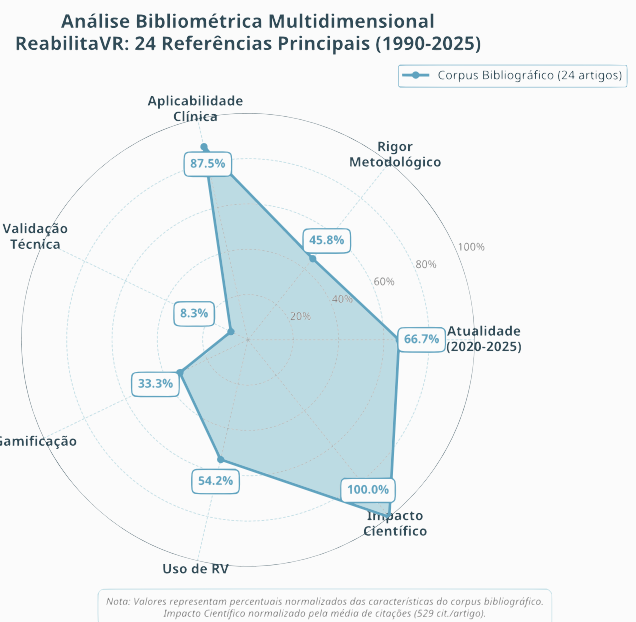


Figura 1: Análise bibliométrica multidimensional do corpus de 24 referências principais (1990-2025).

O corpus selecionado demonstra características que validam as escolhas metodológicas e tecnológicas do ReabilitaVR. A atualidade de 66,7% indica que dois terços das referências são publicações dos últimos cinco anos, refletindo o estado da arte em tecnologias de RV e gamificação aplicadas à reabilitação.

O impacto científico normalizado de 100% resulta de uma média de 503 citações por artigo, incluindo obras seminais como a teoria do fluxo [11], a teoria da autodeterminação [12] e a definição canônica de gamificação [13], que fundamentam teoricamente o design do sistema. O foco em gamificação (33,3%) e o uso de RV (54,2%)

demonstram alinhamento direto com as tecnologias empregadas no ReabilitaVR.

A validação técnica de 8,3% reflete estudos específicos sobre precisão de tracking do Meta Quest 2 [2, 7], que justificam a escolha desta plataforma para captura de movimentos. Revisões sistemáticas recentes [10, 17, 24] confirmam a eficácia de intervenções baseadas em RV para reabilitação de membros superiores, enquanto estudos clínicos [15, 21, 22] validam o uso de cinemática em ambientes virtuais para avaliação funcional. Frameworks conceituais [4, 6] orientam o desenvolvimento de jogos sérios com foco em adesão ao tratamento, aspecto central do design gamificado do ReabilitaVR.

2 Arquitetura e Implementação Técnica

O jogo foi desenvolvido utilizando a game engine **Unity**, amplamente reconhecida por sua robustez no desenvolvimento de aplicações de RV. A escolha do **Meta Quest 3** como plataforma alvo é justificada pela sua natureza standalone, que facilita a logística de uso em ambientes clínicos ou domiciliares, eliminando a necessidade de um PC de alto desempenho e cabos, o que é um fator crucial para a acessibilidade em ambientes de reabilitação. A integração com o hardware é realizada através do **Meta SDK All-in-one**, aproveitando seus Building Blocks para otimizar o desenvolvimento de interações nativas de RV. Utilizamos o sistema de tracking posicional do Quest 3 para obter dados de transformação (posição e rotação) das mãos e do headset em alta frequência. A literatura aponta para a importância de frameworks de desenvolvimento para aplicações clínicas em RV [19]. O sistema de software é projetado com uma arquitetura modular, facilitando a adição de novos exercícios (minigames) e a evolução do sistema de métricas sem comprometer a estabilidade do núcleo.

3 Design de Jogo e Gamificação

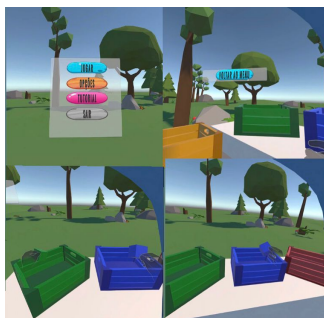


Figura 2: Interface do jogo "TheraCoordination" em Realidade Virtual..

O exercício central do jogo é baseado na mecânica de "**separar blocos caixas**". Esta atividade simples gamifica movimentos essenciais de reabilitação, como o alcance, a prensão e a coordenação olho-mão. O design do jogo é intencionalmente focado em proporcionar uma experiência envolvente para o paciente, transformando a repetição terapêutica em um desafio lúdico, seguindo princípios de design de exergames para reabilitação [8?]. O uso de gamificação tem sido apontado como um fator chave para o engajamento e adesão [3, 18, 25, 26]. A Figura 2 ilustra a interface do jogo em RV.

A mecânica de jogo é projetada para ser intuitiva e escalável. O paciente deve pegar os blocos e depositá-los em caixas de destino

correspondentes à cor. A variação na posição das caixas de destino e na altura de surgimento dos blocos é utilizada para garantir que o paciente execute o *Range of Motion* (ROM) prescrito.

3.1 Feedback Multimodal para Engajamento

O design de interação prioriza o **feedback multimodal** para garantir a motivação e o ajuste imediato do movimento, alinhado com a Teoria do Fluxo[11] e a Teoria da Autodeterminação [12]:

- **Visual:** Efeitos visuais de acerto e progressão (preenchimento de barras de progresso) reforçam o desempenho positivo. O feedback visual imediato é crucial para a correção proprioceptiva do movimento.
- **Sonoro:** Sons de interação (som de "click" ao pegar um bloco, música de fundo) mantêm o paciente engajado. O feedback sonoro é usado para indicar o sucesso ou a falha na classificação do bloco.
- **Háptico:** O uso da vibração dos controles (feedback tátil) é empregado para confirmar a prensão e a soltura dos blocos, aumentando a sensação de imersão e controle.

3.2 Progressão e Dificuldade Adaptativa

Embora o sistema de dificuldade adaptativa esteja em desenvolvimento, a lógica de progressão é baseada no desempenho do paciente. A intenção é que as métricas coletadas (velocidade e precisão) sejam usadas para ajustar dinamicamente os parâmetros do jogo, como:

- Aumento da velocidade de surgimento dos blocos.
- Redução do tamanho das caixas de destino (aumentando a exigência de precisão).
- Aumento da distância vertical e horizontal das caixas de destino (aumentando o ROM exigido).

Esta abordagem garante que o desafio se mantenha no nível ideal para o paciente, maximizando o engajamento e a eficácia terapêutica.

4 Sistema de Análise de Movimento

O sistema aproveita a alta frequência de *tracking* do Meta Quest 3 para registrar a trajetória completa do controle (ou da mão, via *hand tracking*), um método que tem sido validado para a quantificação de movimentos em RV [1, 14]. O jogo registra, por sessão, as seguintes métricas, essenciais para o monitoramento funcional:

- **Velocidade Média do Movimento:** Calculada pela distância percorrida pela mão do paciente no espaço dividida pelo tempo total da tarefa. Esta métrica fornece um indicador direto da fluidez e da eficiência motora.
- **Precisão (Acurácia Espacial):** Medida pela taxa de sucesso na classificação dos blocos.
- **Angulação (Range of Motion - ROM):** O sistema calcula o ROM do membro superior registrando os ângulos máximos de flexão e extensão atingidos durante o exercício. Para isso, utilizamos a posição do *headset* como referência do tronco e a posição de referência da mão, permitindo uma estimativa do envelope de movimento do paciente.

Estes dados são serializados e persistidos em um sistema de salvamento local (JSON/binário), garantindo a privacidade e a acessibilidade. O fisioterapeuta pode acessar esses *saves* para visualizar o progresso do paciente ao longo das sessões, utilizando o jogo

como um **instrumento de medição quantitativa** e base para a futura implementação de dificuldade adaptativa. A Figura 3 ilustra a interface de visualização de métricas para o profissional.



Figura 3: Interface de Visualização de Métricas.

5 Conclusão e Trabalhos Futuros

O projeto demonstra o potencial da Realidade Virtual *standalone* para criar ferramentas de reabilitação que são simultaneamente envolventes e baseadas em dados [20, 23]. O foco no design de jogo e na arquitetura técnica garante uma solução robusta e acessível. Como trabalhos futuros, planejamos implementar a **dificuldade adaptativa** baseada nas métricas de desempenho coletadas, bem como a adição de novos minigames para diversificar os exercícios de reabilitação.

References

- [1] D. Abdulkarim et al. 2023. A methodological framework to assess the accuracy of virtual reality hand-tracking systems: A case study with the Meta Quest 2. *Behavior Research Methods* 55, 1 (2023), 120–135. doi:10.3758/s13428-022-02051-8
- [2] Diar Abdulkarim, Massimiliano Di Luca, Philip Aves, Myriam Maaroufi, Anthony Gallagher, Konstantina Kilteni, and Joanna Bergström. 2024. A Methodological Framework to Assess the Accuracy of Virtual Reality Hand-Tracking Systems: A Case Study with the Meta Quest 2. *Behavior Research Methods* 56 (2024), 2176–2195. doi:10.3758/s13428-022-02051-8
- [3] F. M. Alfieri, C. da Silva Dias, N. C. de Oliveira, et al. 2022. Gamification in musculoskeletal rehabilitation. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine* 15, 6 (2022), 365–374. doi:10.1007/s12178-022-09797-w
- [4] Juan Fernando Ambros-Antemate, José Gutiérrez-Maldonado, and Joaquín T. Limonero. 2023. Improving Adherence to Physical Therapy in the Development of Serious Games: Conceptual Framework Design Study. *JMIR Formative Research* 7 (2023), e39838. doi:10.2196/39838
- [5] Andrea Baumann, Gilles Audibert, Jean-Pierre Guichard, and Paul-Michel Mertes. 2011. Adherence to Treatment in Chronic Disease: A Systematic Review. *Patient Preference and Adherence* 5 (2011), 331–341. doi:10.2147/PPA.S14172
- [6] María del Pilar Beristain-Colorado, Neil Hernández-Gress, and Nora Ávila-Ríos. 2021. Standardizing the Development of Serious Games for Physical Rehabilitation: Conceptual Framework Proposal. *JMIR Serious Games* 9, 2 (2021), e25854. doi:10.2196/25854
- [7] Daniele Borzelli, Stefano Pastorelli, and Laura Gastaldi. 2025. Hand Tracking Accuracy of the Oculus Quest 2 for Rehabilitation Applications: A Preliminary Study. *Sensors* 25, 2 (2025), 412. doi:10.3390/s25020412
- [8] J. F. V. Castillo et al. 2024. Design of Virtual Reality Exergames for Upper Limb Stroke Rehabilitation: A Usability Study. *JMIR Serious Games* 12, 1 (2024), e48900. doi:10.2196/48900
- [9] M. Ceradini et al. 2024. Immersive VR for upper-extremity rehabilitation in patients with stroke: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Neurology* 15 (2024), 11088157. doi:10.3389/fneur.2024.11088157
- [10] Margherita Ceradini, Emilia Losanno, Silvestro Micera, and Andrea Bandini. 2024. Immersive VR for Upper-Extremity Rehabilitation in Patients with Neurological Disorders: A Scoping Review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 21, 1 (2024), 76. doi:10.1186/s12984-024-01367-0
- [11] Mihaly Csikszentmihalyi. 1990. *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. Harper & Row, New York, NY.
- [12] Edward L. Deci and Richard M. Ryan. 2000. The "What" and "Why" of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry* 11, 4 (2000), 227–268. doi:10.1207/S15327965PLI1104_01
- [13] Sebastian Deterding, Dan Dixon, Rilla Khaled, and Lennart Nacke. 2011. From Game Design Elements to Gamefulness: Defining "Gamification". In *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*. Tampere, Finland, 9–15. doi:10.1145/2181037.2181040
- [14] K. Du et al. 2024. Virtual reality assessment of reaching accuracy in patients with stroke using hand tracking. *BMC Digital Health* 2, 1 (2024), 1–10. doi:10.1186/s44247-024-00107-7
- [15] Lynne V. Gauthier, Colleen Kane, Alexandra Borstad, Natalie Strahl, Gitendra Uswatte, Edward Taub, David Morris, Amanda Hall, Christine Arakelian, and Victor Mark. 2022. Video Game Rehabilitation for Outpatient Stroke (ViGoROUS): A Multi-Site Randomized Controlled Trial of In-Home, Self-Managed, Upper-Extremity Therapy. *EclinicalMedicine* 43 (2022), 101239. doi:10.1016/j.eclinm.2021.101239
- [16] Deyan D. Georgiev, Irina Georgieva, Zhongyu Gong, Vijayakumar Nanjappan, and Georgi V. Georgiev. 2021. Virtual Reality for Neurorehabilitation and Cognitive Enhancement. *Brain Sciences* 11, 2 (2021), 221. doi:10.3390/brainsci11020221
- [17] Carina S. González-González, Pedro A. Toledo-Delgado, Vanesa Muñoz-Cruz, and Pablo V. Torres-Carrion. 2019. Serious Games for Rehabilitation: Gestural Interaction in Personalized Gamified Exercises Through a Recommender System. *Journal of Biomedical Informatics* 97 (2019), 103266. doi:10.1016/j.jbi.2019.103266
- [18] Lisa Goudman, Jolien Jansen, Maxence Billot, Nieké Vets, Ann De Smedt, Manuel Roulaud, Philippe Rigoard, and Maarten Moens. 2022. Virtual Reality Applications in Chronic Pain Management: Systematic Review and Meta-analysis. *JMIR Serious Games* 10, 2 (2022), e34402. doi:10.2196/34402
- [19] V. Herrera et al. 2023. A framework to support the development of virtual reality clinical applications as a complement to the rehabilitation process. *Heliyon* 9, 10 (2023), e20108. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e20108
- [20] M. C. Howard et al. 2017. A meta-analysis and systematic literature review of virtual reality rehabilitation programs. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 14, 1 (2017), 1–15. doi:10.1186/s12984-017-0275-3
- [21] Naeem Hussain, Margit Alt Murphy, and Katharina S. Sunnerhagen. 2018. Upper Limb Kinematics in Stroke and Healthy Controls Using Target-to-Target Task in Virtual Reality. *Frontiers in Neurology* 9 (2018), 300. doi:10.3389/fneur.2018.00300
- [22] Naeem Hussain, Katharina S. Sunnerhagen, and Margit Alt Murphy. 2019. End-Point Kinematics Using Virtual Reality Explaining Upper Limb Impairment and Activity Capacity in Stroke. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 16 (2019), 82. doi:10.1186/s12984-019-0551-7
- [23] A. S. Merians et al. 2014. Movement rehabilitation in virtual reality from then to now. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 11, 1 (2014), 1–10. doi:10.1186/1743-0003-11-19
- [24] Mahsa Soleimani, Marjan Ghazisaeedi, and Samaneh Heydari. 2024. The Efficacy of Virtual Reality for Upper Limb Rehabilitation in Stroke Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *BMC Medical Informatics and Decision Making* 24, 1 (2024), 145. doi:10.1186/s12911-024-02534-y
- [25] B. Steiner, L. Elgert, B. Saalfeld, and K. H. Wolf. 2020. Gamification in rehabilitation of patients with musculoskeletal diseases of the shoulder: scoping review. *JMIR Serious Games* 8, 3 (2020), e19914. doi:10.2196/19914
- [26] Romero Tori, Gustavo Bernardes, and Ricardo Nakamura. 2022. Design Principles for Serious Games in Health and Rehabilitation. *Entertainment Computing* 43 (2022), 100511. doi:10.1016/j.entcom.2022.100511