



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

**Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Computação e Sistemas**

**Estudo sobre a Sincronização de um
Dispositivo Vestível do Pé com jogos
sérios**

Jefferson de Freitas Magalhães

**TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO**

**ORIENTAÇÃO:
Gilda Aparecida de Assis**

**Fevereiro, 2024
João Monlevade–MG**

Jefferson de Freitas Magalhães

Estudo sobre a Sincronização de um Dispositivo Vestível do Pé com jogos sérios

Orientador: Gilda Aparecida de Assis

Monografia apresentada ao curso de Sistemas de Informação do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para aprovação na Disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso II”.

Universidade Federal de Ouro Preto

João Monlevade

Fevereiro de 2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M188e Magalhães, Jefferson de Freitas.

Estudo sobre a sincronização de um dispositivo vestível do pé com jogos sérios. [manuscrito] / Jefferson de Freitas Magalhães. - 2024. 41 f.

Orientadora: Profa. Dra. Gilda Aparecida de Assis.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Sistemas de Informação .

1. Computação gráfica. 2. Jogos eletrônicos - Fisioterapia. 3. Jogos para computador. 4. Reabilitação - Jogos. 5. Medicina Física e Reabilitação - Inovações tecnológicas. I. Assis, Gilda Aparecida de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 004.775:615.8

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



FOLHA DE APROVAÇÃO

Jefferson de Freitas Magalhães

Estudo sobre a sincronização de um dispositivo vestível do pé com jogos sérios

Monografia apresentada ao Curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação

Aprovada em 20 de fevereiro de 2024

Membros da banca

Doutora - Gilda Aparecida de Assis - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutora - Tatiana Alves Costa - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutora - Lucinéia Souza Maia - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Gilda Aparecida de Assis, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 22/02/2024



Documento assinado eletronicamente por **Gilda Aparecida de Assis, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/02/2024, às 16:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0672195** e o código CRC **AE92EE14**.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo investigar e analisar o impacto que a sincronização tem em um dispositivo vestível com jogos sérios e levantar estratégias que podem ser adotadas para minimizar problemas de sincronização entre o *hardware* e o jogo computacional. Os jogos sérios têm sido amplamente utilizados para diversos propósitos, incluindo reabilitação física e treinamento motor. Nesse contexto, o uso de dispositivos vestíveis com sensores pode proporcionar uma experiência imersiva e interativa, melhorando a eficácia dos jogos sérios. Entretanto, a implementação dessa integração não está isenta de desafios. A falta de sincronismo temporal entre os dados capturados pelo dispositivo vestível e as ações no jogo pode resultar em uma experiência de usuário comprometida. Além disso, a classificação errônea das entradas dos sensores pode levar a respostas inadequadas ou imprecisas no jogo, afetando negativamente a imersão e a eficácia da experiência. O trabalho envolveu a revisão da literatura relacionada a jogos sérios, dispositivos vestíveis e sincronização, a fim de compreender os conceitos e terminologia fundamentais, além de analisar trabalhos anteriores que utilizaram jogos sérios em conjunto com dispositivos vestíveis. Essa revisão permitiu uma contextualização adequada do estado atual da pesquisa e das práticas existentes nesse campo. Os dados coletados por um dispositivo vestível para o pé e dois jogos sérios controlados pelo dispositivo foram analisados para identificação de possíveis problemas de sincronismo entre os movimentos realizados pelos participantes e os sinais recebidos pelo jogo. Os resultados dessa análise mostraram uma baixa taxa de amostragem e alguns problemas de sincronismo entre o *hardware* e *software* embarcado e o jogo. Para mitigar esses problemas foram feitas mudanças no código embarcado no controlador do dispositivo vestível e foram realizados experimentos com os mesmos jogos e um novo jogo sério, desenvolvido para uso com o dispositivo vestível. Os resultados desses experimentos mostraram melhorias significativas na taxa de amostragem dos dados e uma redução perceptível nos problemas de sincronismo temporal. Além disso, a percepção do jogador quanto aos problemas de sincronismo temporal melhorou, resultando em uma experiência de jogo mais fluida e imersiva. Os resultados desse trabalho podem ter aplicações práticas na área de reabilitação física e treinamento motor, proporcionando uma experiência de jogo mais envolvente e precisa para os usuários.

Palavras-chaves: jogos sérios, tecnologia vestível, reabilitação motora

Abstract

This study aims to investigate and analyze the impact of synchronization on a wearable device with serious games and to identify strategies that can be adopted to minimize synchronization issues between the hardware and the computational game. Serious games have been widely used for various purposes, including physical rehabilitation and motor training. In this context, the use of wearable devices with sensors can provide an immersive and interactive experience, enhancing the effectiveness of serious games. However, the implementation of this integration is not without challenges. The lack of temporal synchronization between the data captured by the wearable device and the actions in the game can result in a compromised user experience. Additionally, erroneous classification of sensor inputs can lead to inadequate or inaccurate responses in the game, negatively affecting immersion and effectiveness of the experience. The study involved a review of literature related to serious games, wearable devices, and synchronization to understand fundamental concepts and terminology, as well as to analyze previous works that utilized serious games in conjunction with wearable devices. This review allowed for an appropriate contextualization of the current state of research and existing practices in this field. Data collected by a wearable device for the foot and two serious games controlled by the device were analyzed to identify potential synchronization issues between the movements performed by participants and the signals received by the game. The results of this analysis showed a low sampling rate and some synchronization issues between the hardware, embedded software, and the game. To mitigate these issues, changes were made to the embedded code in the wearable device controller, and experiments were conducted with the same games and a new serious game developed for use with the wearable device. The results of these experiments showed significant improvements in data sampling rate and a noticeable reduction in temporal synchronization issues. Additionally, the player's perception of temporal synchronization issues improved, resulting in a smoother and more immersive gaming experience. The outcomes of this study may have practical applications in the field of physical rehabilitation and motor training, providing a more engaging and accurate gaming experience for users.

Key-words: serious games, wearable technology, motor rehabilitation

Lista de ilustrações

Figura 1 – Reprodução da Internet. (INOR - Instituto de Oncologia do Recife, 2019)	8
Figura 2 – Reprodução da Internet. (Bauerfeind Brasil, 2023)	9
Figura 3 – Reprodução da Internet. (Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas, 2022)	9
Figura 4 – Reprodução da Internet. (G1, 2015)	10
Figura 5 – Tela inicial do Nível Iniciante do jogo Quebra-cabeça com Myo. (FERNANDES et al., 2017)	10
Figura 6 – Reprodução da Internet. (CNET, 2015)	11
Figura 7 – Reprodução da Internet. (BLAST, 2018)	11
Figura 8 – Papete Inteligente. (FERREIRA et al., 2020)	15
Figura 9 – Flexão Dorsal e Flexão Plantar. (FERREIRA et al., 2020)	15
Figura 10 – Dispositivo Myo. (FERNANDES; CARDOSO; JUNIOR, 2016)	16
Figura 11 – A imagem à esquerda é uma ilustração da plataforma de sensoriamento. A imagem à direita mostra um participante usando o nó de sensoriamento de movimento. (ALSHURAF A et al., 2014)	16
Figura 12 – Tela Inicial do jogo Acelera. (FERREIRA et al., 2020)	18
Figura 13 – Cenário do jogo Papa Bolinhas. (AZEVEDO et al., 2021)	18
Figura 14 – Gestos realizados para avaliação da técnica de sincronização automática. (PLOTZ et al., 2012)	20
Figura 15 – Exemplo de reconstrução da pose dos membros superiores usando o sistema vestível proposto. (BALDI et al., 2020)	21
Figura 16 – Hardware da papete inteligente. Elaborado pelo autor (2023)	23
Figura 17 – Cenário do jogo Acelera. (FERREIRA et al., 2020)	24
Figura 18 – Cenário do jogo Chute ao Gol. Elaborado pelo autor (2023)	24
Figura 19 – Geração dos sinais. Elaborado pelo autor (2023)	26
Figura 20 – Perfil dos participantes. Elaborado pelo autor (2023)	27
Figura 21 – Percepção de incômodo durante o jogo. Elaborado pelo autor (2023)	28
Figura 22 – Feedback sobre dificuldades de controle do Jogo. Elaborado pelo autor (2023)	28
Figura 23 – Feedback sobre Frustração com o Funcionamento do Dispositivo. Elaborado pelo autor (2023)	28
Figura 24 – Feedback sobre Restritividade de Movimentos Causada pelos Sensores. Elaborado pelo autor (2023)	29
Figura 25 – Menu Inicial.	32
Figura 26 – Tela do jogo	32

Sumário

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Justificativa e Problema	12
1.2	Objetivos	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Dispositivos Vestíveis e Interação Humano-Máquina	15
2.2	Jogos sérios e reabilitação virtual	17
2.3	Sincronização	19
2.4	Considerações finais	21
3	METODOLOGIA	22
3.1	Materiais	22
3.1.1	Hardware	22
3.1.2	Software	22
3.2	Métodos	23
3.2.1	Coleta de dados	23
3.2.2	Experimento com voluntários	24
3.3	Edição de vídeo para realizar o sincronismo	25
3.4	Análise dos vídeos e dos arquivos de <i>log</i>	25
4	DESENVOLVIMENTO	27
4.1	Dados Coletados	27
4.1.1	Formulário Pré-teste	27
4.1.2	Formulário Pós-teste	27
4.2	Jogo sério - Guardiã da Fortaleza	30
4.2.1	Estória	30
4.2.2	Implementação	31
4.2.3	Jogabilidade	31
4.3	Refatoração do Código do Controlador da Papete	33
5	RESULTADOS	35
6	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	38

1 Introdução

Nos últimos anos, o crescimento notável do campo dos jogos eletrônicos, abrangendo diversos gêneros e plataformas, tem coincidido com avanços significativos na tecnologia de dispositivos vestíveis. Nesse cenário, a sincronização de dispositivos vestíveis do pé com jogos sérios emerge como uma área de pesquisa promissora. Essa sincronização torna-se crucial ao integrar esses dispositivos como meio de controle do jogo, permitindo uma representação precisa e em tempo real das interações do usuário. Essa precisão não apenas aprimora a qualidade da experiência de jogo, mas também expande suas aplicações, especialmente em contextos educacionais e terapêuticos. Garantir que as ações físicas do jogador sejam refletidas instantaneamente no ambiente virtual não apenas aprofunda a imersão, mas também potencializa o impacto terapêutico e educacional dos jogos sérios, tornando a pesquisa nesta área fundamental para explorar todo o potencial dos dispositivos vestíveis na interseção entre jogos eletrônicos e experiências interativas personalizadas.

Existem vários problemas físicos relacionados ao pé, um exemplo é o pé torto congênito (PTC) (Figura 1) uma deformidade congênita de maior predominância na ortopedia. É caracterizada por um pé excessivamente virado (equinovarus) e arco longitudinal medial alto (cavus) que, se não tratado, leva à incapacidade funcional a longo prazo. No Brasil, a cada 1000 nascidos vivos 2 são acometidos pelo PTC (AZEVEDO et al., 2021).



Figura 1 – Reprodução da Internet. (INOR - Instituto de Oncologia do Recife, 2019)

Outro Exemplo é a Fascite plantar (Figura 2) um processo inflamatório ou degenerativo que afeta a fásia plantar, um tecido fibroso, pouco elástico, que recobre a musculatura da sola do pé em toda sua extensão, desde o osso calcâneo até os dedos dos pés. Estima-se que uma de cada 10 pessoas experimentem dor na região subcalcânea ao longo da vida (FERREIRA, 2014).

FASCITE PLANTAR



Figura 2 – Reprodução da Internet. (Bauerfeind Brasil, 2023)

Segundo dados da Organização das Nações Unidas, entre os 3 grandes grupos etários (jovens, adultos e idosos) os idosos formam o grupo que mais cresce em toda a população (Figura 3). Diante um cenário em que o envelhecimento ativo é fundamental para manutenção da qualidade de vida dos idosos, a gameterapia desempenha um papel de relevância, quando utilizada de forma complementar à terapia convencional. A gameterapia demonstrou melhorias significativas na qualidade de vida, prevenção de quedas e promoção da saúde física e cognitiva (ROCHA et al., 2023), na (Figura 4) uma idosa realizando uma sessão de gameterapia.

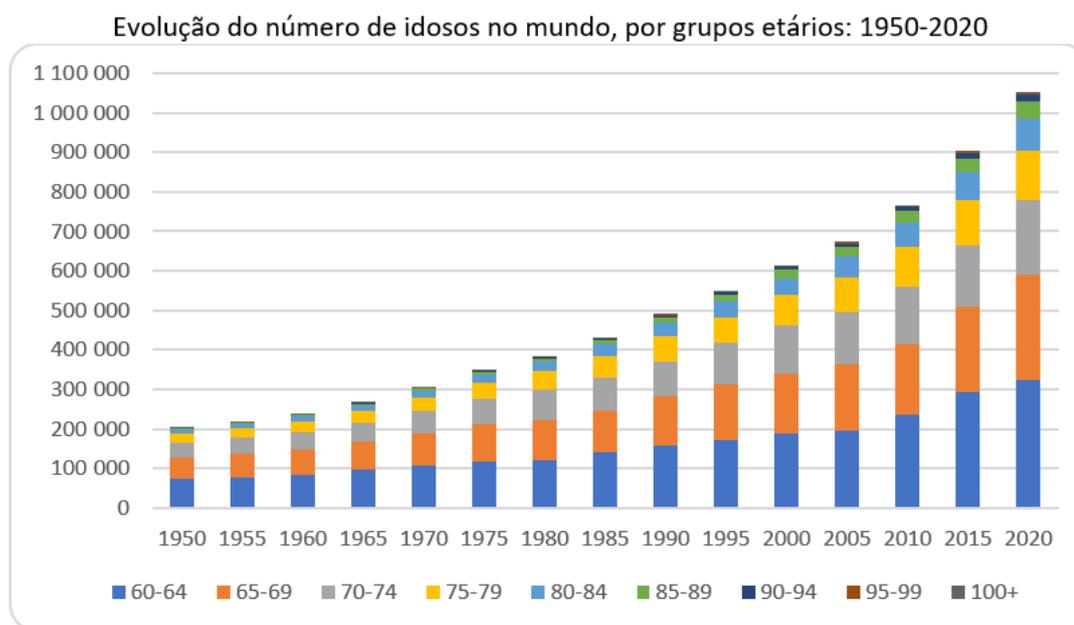


Figura 3 – Reprodução da Internet. (Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas, 2022)



Figura 4 – Reprodução da Internet. (G1, 2015)

(DIAS et al., 2017) abordam a gameterapia como um método de reabilitação motora para indivíduos com paralisia cerebral, utilizando o Nintendo Wii como recurso terapêutico. (SA et al., 2023) utiliza a tecnologia Microsoft Kinect para o treinamento motor e a reabilitação física, onde é possível avaliar a execução de exercícios, o que pode ser fundamental para o treinamento motor e a reabilitação.

O relacionamento terapêutico, pelo uso do jogo, pode aprimorar as relações sociais e a empatia. Também pode promover o aumento das forças pessoais, por meio da criatividade para a resolução de problemas (GIAXA et al., 2019). Intervenções terapêuticas utilizando jogos são uma abordagem utilizada por profissionais de saúde mental, fisioterapeutas, entre outros, para ajudar os pacientes a abordar questões emocionais, comportamentais e cognitivas. Um exemplo desse uso foi feito pela Flávia Gonçalves, que teve a ideia de criar um jogo de quebra-cabeça voltado para crianças e adolescentes com deficiência física nos membros superiores (Figura 5).



Figura 5 – Tela inicial do Nível Iniciante do jogo Quebra-cabeça com Myo. (FERNANDES et al., 2017)

(MCGONIGAL, 2011) observam que os jogos têm um potencial significativo para criar engajamento e motivação em diversas áreas da vida, incluindo aprendizado e treinamento. Por outro lado, (PÉREZ; CASTRO; LÓPEZ, 2023) destacam o valor dos jogos sérios como ferramentas eficazes para a educação e a simulação. A combinação desses conceitos com dispositivos vestíveis promete uma nova abordagem para aprimorar a expe-

riência de jogo e expandir suas aplicações práticas. Em (PEREIRA, 2022) é apresentado o jogo sério "Huano" desenvolvido com o objetivo de ser utilizado na reabilitação de crianças com pé torto congênito.

Os dispositivos vestíveis do pé, projetados como extensões do corpo humano, oferecem uma oportunidade única para transformar a maneira como jogamos e interagimos com ambientes virtuais. Jogos sérios, por sua vez, transcendem a mera diversão, alinhando-se a propósitos educacionais, de treinamento e de saúde. Ao integrar a tecnologia de dispositivos vestíveis do pé com a seriedade dos jogos, abrem-se perspectivas para a criação de experiências interativas mais imersivas e impactantes. Em (FERREIRA et al., 2020) é apresentando uma sandália chamada "Papete Inteligente", um dispositivo vestível utilizado no jogo "Acelera", onde ela é calçada no pé direito do jogador e permite controlar o carrinho do jogo por meio de movimentos de dorsiflexão e flexão plantar.

A integração de dispositivos vestíveis em jogos oferece uma oportunidade emocionante de tornar as experiências de jogo mais imersivas, interativas e personalizadas, um exemplo é A Razer Nabu (Figura 6) uma pulseira inteligente projetada para jogos móveis, que também acompanha atividades diárias. Ela permite a conversão do número de passos, calorias queimadas e horas de sono em recompensas dentro do jogo, incentivando uma vida ativa e oferecendo benefícios adicionais aos jogadores. Outro exemplo dessa integração é o uso do Nintendo Wii (Figura 7) como recurso de reabilitação motora para indivíduos com PC (paralisia cerebral).



Figura 6 – Reprodução da Internet. (CNET, 2015)



Figura 7 – Reprodução da Internet. (BLAST, 2018)

Esta pesquisa tem como objetivo explorar a sincronização de dispositivos vestíveis do pé com jogos sérios, investigando seus efeitos na experiência do usuário. Além disso, pretende-se examinar os desafios técnicos associados à integração eficaz desses dispositivos, bem como avaliar as possíveis aplicações e benefícios resultantes dessa sinergia.

Ao compreender as nuances dessa convergência entre tecnologia de dispositivos vestíveis e jogos sérios, podemos obter *insights* que podem influenciar futuros desenvolvimentos no campo dos jogos e nas interações humanas com a realidade virtual. Realiza uma análise da sincronização do dispositivo vestível Papete inteligente com jogos sérios.

No decorrer deste estudo, serão explorados estudos, experimentos e análises críticas, visando lançar luz sobre os benefícios, desafios e implicações dessa fusão. A pesquisa busca aumentar nossa compreensão das interações humano-máquina em contextos de jogo, e contribuir para a expansão dos horizontes das aplicações dos dispositivos vestíveis, encorajando futuras explorações e inovações no campo.

1.1 Justificativa e Problema

A convergência entre tecnologia de dispositivos vestíveis do pé e jogos sérios representa um campo de pesquisa e desenvolvimento que promete avançar tanto o domínio dos jogos eletrônicos quanto as aplicações educacionais e de treinamento. A justificativa para a realização deste estudo reside na necessidade de explorar essa convergência, avaliando seus impactos na experiência do usuário. A crescente demanda por soluções inovadoras para engajamento, retenção de conhecimento e aprendizado imersivo clama por uma abordagem que combine tecnologia de dispositivos vestíveis com os objetivos sérios e formativos dos jogos.

A "Papete Inteligente" (FERREIRA et al., 2020) foi proposta para a interação entre o usuário e jogos sérios, integrando *hardware* e *software*. No entanto, identificou-se a necessidade de uma análise mais aprofundada do sincronismo entre os movimentos realizados pelo participante e os sinais recebidos pelo jogo. A proposta original da papete inteligente foi concebida e construída, mas ainda não tinha sido submetida a um teste de sincronismo abrangente. A relevância desse teste reside na determinação precisa se os movimentos do usuário estão sincronizados com as interações no jogo, destacando a importância do sincronismo para a eficácia da experiência de jogo e potenciais aplicações terapêuticas.

O problema central abordado neste trabalho reside na falta de uma análise detalhada do sincronismo na papete inteligente. A ausência de um teste mais apurado não permite avaliar a eficácia da integração entre o *hardware* e *software*, especialmente no que diz respeito à precisão na identificação em tempo real dos movimentos do usuário para o jogo. A questão central é identificar se existem problemas de sincronismo e, caso afirmativo,

compreender a natureza desses problemas. A partir dessa identificação, o objetivo é propor soluções eficazes para otimizar o sincronismo entre os movimentos do usuário e as respostas do jogo, contribuindo assim para aprimorar a experiência de uso e ampliar as possibilidades de aplicação da papete inteligente em contextos terapêuticos e de entretenimento.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é investigar a viabilidade, os impactos e os desafios da sincronização de um dispositivo vestível do pé com jogos sérios, explorando suas implicações na experiência do usuário. Para atingir esse objetivo, os seguintes objetivos específicos foram delineados:

- Analisar os resultados de um teste com usuários quanto ao sincronismo e identificação dos movimentos pela papete inteligente;
- Estudar o módulo de processamento dos sinais da papete inteligente e projetar e implementar melhorias, de forma a obter um protótipo funcional de sincronização de um dispositivo vestível do pé com um jogo sério, considerando aspectos de hardware, software e interação humano-máquina;
- Realizar experimentos e avaliações em laboratório para analisar os efeitos da sincronização do dispositivo vestível do pé nos aspectos de precisão e desempenho do usuário.

2 Revisão bibliográfica

A reabilitação virtual por meio de videogames tem emergido como uma abordagem inovadora na área da saúde e reabilitação. A convergência dos avanços nos videogames com a área de reabilitação tem possibilitado o desenvolvimento de intervenções terapêuticas inovadoras. A fusão de mecânicas interativas dos jogos com princípios de reabilitação resulta na criação de ambientes virtuais, capazes de motivar os pacientes a se engajarem ativamente em suas terapias (ADERINTO GBOLAHAN OLATUNJI; EGBUNU, 2023).

Um dos principais benefícios da reabilitação virtual baseada em videogames é a capacidade de aumentar a motivação e adesão dos pacientes aos seus planos de tratamento. Jogos sérios são concebidos com elementos que incentivam os jogadores a estabelecer e alcançar metas, superar obstáculos e ganhar recompensas, conceitos que podem ser adaptados para fortalecer a aderência terapêutica e a execução de exercícios (KERN et al., 2019).

A aplicação da reabilitação virtual abrange uma ampla variedade de condições médicas, incluindo distúrbios neuromusculares, lesões neurológicas, reabilitação pós-operatória e tratamento de doenças crônicas. A adaptação dos videogames para atender às necessidades específicas de cada paciente possibilita a criação de programas personalizados, com o objetivo de aprimorar a funcionalidade física e a qualidade de vida (VIEIRA et al., 2014).

A reabilitação virtual por meio de videogames viabiliza uma abordagem personalizada, permitindo ajustes dos jogos com base nas capacidades e progresso individuais de cada paciente. Além disso, a coleta de dados durante as sessões de reabilitação proporciona um monitoramento contínuo do desempenho, o que possibilita adaptações precisas do tratamento ao longo do tempo (RODRÍGUEZ et al., 2022).

Em síntese, a reabilitação virtual por meio de videogames demonstra um potencial substancial para aprimorar a recuperação física e funcional de pacientes. Nesse contexto, vale destacar que videogames que incorporam sensores, como o *Kinect*, têm sido explorados como recursos terapêuticos. Em (MORTAZAVI et al., 2014) é observado que o Kinect e outros sistemas de rastreamento de movimento baseados em câmera é apresentado problemas potenciais de mudança de iluminação em certos sistemas de reconhecimento, como resultado, é utilizado sensores vestíveis para capturar as atividades.

O desenvolvimento de jogos sérios especificamente projetados para interagir com esses dispositivos trouxeram avanços notáveis, tais como apoio no processo de reabilitação, melhorias na coordenação motora, na força muscular e na qualidade de vida dos pacientes (FERREIRA et al., 2020). Além disso, a evolução tecnológica trouxe à tona novos dispositivos com sensores, permitindo uma interação mais natural e intuitiva no cotidiano. Esses

inovadores dispositivos vestíveis oferecem oportunidades promissoras, não apenas para atividades do dia a dia, mas também como ferramentas valiosas na reabilitação virtual por meio de jogos sérios. A próxima seção explorará como a incorporação de dispositivos vestíveis pode enriquecer ainda mais essa abordagem, proporcionando uma interação mais imersiva e eficaz.

2.1 Dispositivos Vestíveis e Interação Humano-Máquina

Os dispositivos vestíveis emergiram como impulsionadores proeminentes da interação entre humanos e máquinas, introduzindo novas formas de comunicação e controle em diversos contextos. Nesta seção, iremos estudar o papel desempenhado pelos dispositivos vestíveis na interação entre humanos e máquinas, destacando os desafios e oportunidades inerentes a esta relação.

Os dispositivos vestíveis, também conhecidos como *wearables*, englobam uma variedade de dispositivos eletrônicos incorporados em itens de vestuário ou acessórios usados diretamente no corpo. Desde os primeiros relógios de pulso digitais até os modernos *smartwatches* e óculos inteligentes, os *wearables* têm se tornado cada vez mais sofisticados em termos de funcionalidade e capacidade de interação (GLAROS; FOTIADIS, 2005).

Um exemplo de dispositivo vestível é proposto por (FERREIRA et al., 2020), um calçado do tipo papete equipado com uma placa de prototipagem Arduino baseada no microcontrolador ATmega328P e um acelerômetro (Figura 8). O acelerômetro foi posicionado na papete entre o segundo e o terceiro metatarso de forma a capturar parâmetros de movimento dos pés em flexão dorsal e flexão plantar (Figura 9).

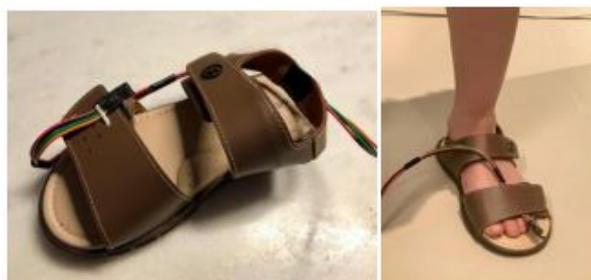


Figura 8 – Papete Inteligente. (FERREIRA et al., 2020)

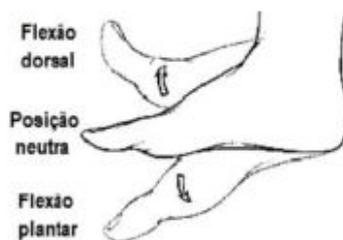


Figura 9 – Flexão Dorsal e Flexão Plantar. (FERREIRA et al., 2020)

Outro exemplo de dispositivo vestível foi apresentado por (FERNANDES; CARDOSO; JUNIOR, 2016), o Myo possui a habilidade de controlar aparelhos, reagindo a partir de movimentos sutis e filtrando movimentos inúteis que braço e mão realizam. A variedade de aparelhos que podem ser controlados é muito grande, sendo possível controlar *games* e vídeos, passar *slides* e manipular aeromodelos apenas com os movimentos do braço e da mão (Figura 10).



Figura 10 – Dispositivo Myo. (FERNANDES; CARDOSO; JUNIOR, 2016)

Em (ALSHURAFa et al., 2014) é utilizado um acelerômetro vestível (Figura 11) embutido em um cinto projetado para ser colocado ao redor da cintura, com objetivo de realizar um teste em que é modificado um jogo de videogame, o jogo utiliza o *framework* de classificação para detectar o tipo de atividade e o tempo gasto em cada tipo de atividade para converter a energia exercida no mundo real na energia potencial do avatar do jogo.



Figura 11 – A imagem à esquerda é uma ilustração da plataforma de sensoriamento. A imagem à direita mostra um participante usando o nó de sensoriamento de movimento. (ALSHURAFa et al., 2014)

A tecnologia de dispositivos vestíveis tem como objetivo aprimorar a experiência do usuário, tornando-a mais conveniente, acessível e integrada à rotina diária. Por meio de notificações em tempo real, monitoramento de saúde, assistentes virtuais e outras funcionalidades, os *wearables* buscam fornecer informações relevantes e auxiliar o usuário de maneira discreta (BREWSTER et al., 2003). Apesar dos benefícios, os dispositivos

vestíveis enfrentam desafios significativos. A miniaturização de componentes, a vida útil da bateria, questões de privacidade e segurança de dados são considerações essenciais na concepção desses dispositivos. Além disso, a adaptação às preferências e necessidades individuais dos usuários é crucial para garantir uma experiência verdadeiramente útil e eficaz (MOTTI, 2019).

O campo dos dispositivos vestíveis e da interação humano-máquina continua a evoluir rapidamente, com a integração de inteligência artificial, realidade aumentada e outros avanços tecnológicos. A criação de interfaces mais naturais e a capacidade de compreender o contexto do usuário têm o potencial de revolucionar a maneira como interagimos com a tecnologia em nosso cotidiano (TCHANTCHANE et al., 2023).

Em resumo, os dispositivos vestíveis estão redefinindo a interação humano-máquina, isso implica uma evolução no modo como os seres humanos e as máquinas se comunicam e colaboram (FREITAS, 2017).

2.2 Jogos sérios e reabilitação virtual

A convergência entre jogos sérios e reabilitação virtual tem ganhado destaque como uma abordagem terapêutica inovadora para promover a recuperação física e funcional em pacientes. Esta seção explora a integração desses dois campos, destacando como os jogos sérios podem ser aplicados na reabilitação virtual.

A classificação de jogos pode ocorrer por meio de diferentes abordagens. A distinção inicial entre jogos eletrônicos e analógicos, impulsionada pelo surgimento de sistemas de computação, exemplifica uma dessas abordagens. Características, como o número de jogadores, local de interação, plataforma e gênero, são relevantes para a classificação (CORREA et al., 2021).

Os jogos sérios, alcançaram notável popularidade em aproximadamente 2002. Essa popularidade é atribuída à sua capacidade de proporcionar experiências com objetivos que ultrapassam os limites da ludicidade e do entretenimento convencionais. A partir desse ponto, os jogos sérios foram extensivamente desenvolvidos em diversas esferas, incluindo saúde, educação e setor corporativo, almejando consistentemente contribuir para a construção de conhecimento individual. (CHIARATO et al., 2018)

Os jogos sérios, também conhecidos como jogos educativos ou jogos para fins sérios, são projetados com objetivos além do entretenimento puro. Eles buscam transmitir conhecimentos, desenvolver habilidades específicas ou influenciar comportamentos dos jogadores. A aplicação de jogos sérios na saúde e na educação tem se mostrado eficaz para engajar os usuários de maneira significativa (MCGONIGAL, 2011).

Um exemplo de jogo sério é o Acelera (Figura 12), o jogo é constituído de uma

pista com carros e obstáculos como cones e buracos, o autor define que o objetivo do jogador é controlar um carrinho e desviar dos obstáculos para somar pontos, onde os obstáculos foram cuidadosamente posicionados na pista de forma a fazer com que o jogador permaneça o tempo necessário com pé flexionado na posição plantar ou dorsal e também em repouso (FERREIRA et al., 2020).



Figura 12 – Tela Inicial do jogo Acelera. (FERREIRA et al., 2020)

Outro exemplo de jogo sério é o Papa Bolinhas (Figura 13), proposto por (AZEVEDO et al., 2021), é um jogo sério desenvolvido na Unity3D, constituído de um personagem que controla um quadriciclo; uma pista com bolinhas espalhadas ao longo do percurso do jogo. O objetivo do jogador é controlar o quadriciclo através da papete e coletar o máximo de bolinhas para somar pontos, utilizando para isso os movimentos do pé de flexão dorsal e plantar.

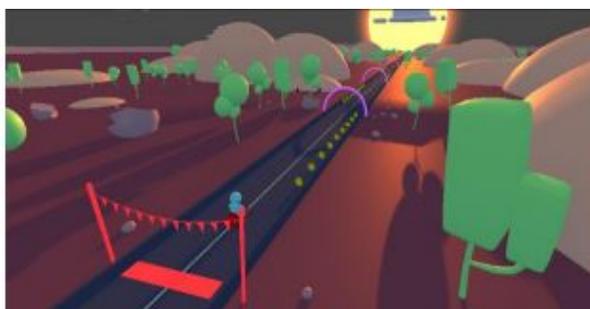


Figura 13 – Cenário do jogo Papa Bolinhas. (AZEVEDO et al., 2021)

A reabilitação virtual envolve o uso de ambientes virtuais interativos para apoiar a reabilitação física e cognitiva. Ao criar ambientes imersivos e envolventes, os pacientes podem participar ativamente de exercícios e atividades terapêuticas, melhorando a aderência e a motivação. A reabilitação virtual pode ser aplicada em diversos contextos, incluindo lesões neuromusculares, distúrbios neurológicos e reabilitação pós-operatória (AGBO et al., 2023). A combinação de jogos sérios com reabilitação virtual oferece benefícios significativos. Jogos sérios são projetados para motivar os jogadores a atingir metas e superar desafios, conceitos que podem ser aplicados diretamente na reabilitação. Os jogadores podem se envolver em atividades terapêuticas enquanto experimentam a sensação de conquista e progresso, o que pode melhorar a adesão ao tratamento.

A reabilitação virtual baseada em jogos sérios permite a personalização das atividades de acordo com as necessidades e capacidades individuais de cada paciente. Ajustes nas mecânicas do jogo e na dificuldade podem ser feitos para atender aos objetivos terapêuticos específicos. Além disso, a coleta de dados durante as sessões de jogo possibilita um monitoramento preciso do progresso e a adaptação do tratamento (KIILI, 2005).

Apesar dos benefícios, a integração de jogos sérios na reabilitação virtual enfrenta desafios. É necessário um equilíbrio entre a motivação do jogo e os objetivos terapêuticos, garantindo que a diversão não comprometa a eficácia do tratamento. Além disso, a escolha adequada de jogos, a colaboração entre profissionais de saúde e desenvolvedores e a adaptação a diferentes condições clínicas são considerações cruciais (DETERDING et al., 2011).

A intersecção entre jogos sérios e reabilitação virtual continua a evoluir com o avanço da tecnologia. A incorporação de realidade virtual, realidade aumentada e interfaces mais naturais pode expandir ainda mais as possibilidades terapêuticas. A pesquisa contínua nessa área tem o potencial de transformar a maneira como a reabilitação é abordada, tornando-a mais envolvente, personalizada e eficaz.

2.3 Sincronização

A sincronização, no contexto de tecnologia e sistemas, refere-se à coordenação de eventos ou processos para ocorrerem em um ritmo ou tempo específico (TANENBAUM; STEEN, 2002). Essa prática é fundamental para garantir a integridade, confiabilidade e eficiência de sistemas que dependem da interação entre diferentes componentes. Nesta seção, exploramos os conceitos fundamentais da sincronização e suas diversas aplicações em áreas como redes de computadores, sistemas distribuídos e jogos interativos.

A sincronização é essencial em sistemas onde a ocorrência simultânea ou ordenada de eventos é crucial. Isso envolve a coordenação de relógios, processos e comunicações para evitar conflitos, garantir a consistência de dados e permitir a cooperação entre dispositivos. Métodos como bloqueios, semáforos e trocas de mensagens são utilizados para implementar essa coordenação (BOCCALETTI et al., 2002).

Em (PLOTZ et al., 2012) é apresentado um método de sincronização automática entre acelerômetros vestíveis e câmeras de vídeo. É realizados gestos distintivos capturados por uma câmera que são combinados com sinais de aceleração registrados usando estimativa de atraso temporal baseada em correlação cruzada. A (Figura 14) mostra os gestos: (i) movimento vertical; (ii) movimento horizontal; (iii) diagonal; (iv) movimento circular; e (v) movimentos em forma de onda, para a realização da avaliação da técnica de sincronização automática. Ela fornece uma representação visual dos gestos realizados durante o experimento de sincronização automática entre os dispositivos vestíveis e as

câmeras de vídeo.



Figura 14 – Gestos realizados para avaliação da técnica de sincronização automática. (PLOTZ et al., 2012)

Em (BALDI et al., 2020) é apresentado um sistema de estimação de pose vestível (WePosE) com objetivo de realizar análise de movimento e rastreamento corporal, composto por apenas acelerômetros e giroscópios que são usados para estimar a orientação. Diferentemente das abordagens baseadas em câmera, enquanto os métodos baseados em câmera pode ser impactados por problemas de oclusão, resultando na perda temporária da visibilidade dos membros, a solução proposta, denominada WePosE, não é afetada por tais limitações. Isso implica que a estimação da pose dos membros permanece robusta mesmo diante de obstruções momentâneas da visão corporal. Além disso, as variações nas condições de iluminação podem prejudicar a precisão dos métodos baseados em câmera, ao passo que o WePosE, baseado em unidades de medição inercial (IMUs), é menos sensível a tais variações, assegurando resultados mais consistentes tanto em ambientes internos quanto externos (Figura 15).

Em redes de computadores, a sincronização é essencial para garantir que dados sejam transmitidos e recebidos de maneira organizada e sem perda. Protocolos de sincronização de tempo, como o NTP (*Network Time Protocol*), são empregados para manter relógios em diferentes sistemas sincronizados, permitindo a ordenação precisa de eventos em uma rede (ARENAS et al., 2008).

Nos jogos interativos, a sincronização desempenha um papel crucial para proporcionar uma experiência coesa e imersiva para os jogadores. A sincronização de ações e eventos entre jogadores, servidores e elementos do ambiente de jogo é necessária para evitar inconsistências, atrasos e problemas de latência, onde a latência representa o tempo que leva

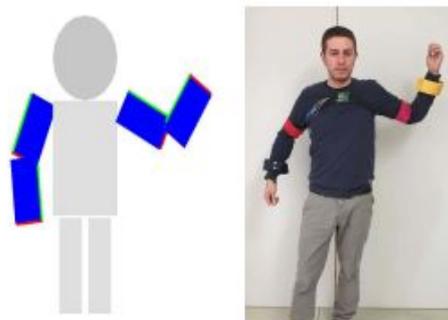


Figura 15 – Exemplo de reconstrução da pose dos membros superiores usando o sistema vestível proposto. (BALDI et al., 2020)

para a informação ser processada e transmitida, afetando a percepção da fluidez e da responsividade por parte do usuário. A tecnologia de sincronização é especialmente crítica em jogos *online* e em tempo real (MARFISI-SCHOTTMAN; GEORGE; TARPIN-BERNARD, 2010).

A sincronização não é uma tarefa trivial e apresenta desafios complexos. A variação de latência, as diferenças de relógios e os atrasos de comunicação podem afetar a precisão da sincronização. Além disso, a sobrecarga computacional e a escalabilidade também devem ser consideradas ao projetar sistemas sincronizados (CLAYPOOL; FINKEL, 2014).

Com a evolução das tecnologias, novas abordagens de sincronização estão sendo desenvolvidas. A computação em nuvem, a Internet das Coisas (IoT) e a computação distribuída estão influenciando a maneira como a sincronização é abordada, oferecendo soluções mais flexíveis e adaptáveis (ARENAS et al., 2008).

A sincronização é um aspecto fundamental em sistemas interativos e distribuídos, garantindo a harmonia entre componentes e a coesão da experiência do usuário. A compreensão dos princípios da sincronização é essencial para projetar sistemas robustos e eficientes em uma variedade de contextos.

2.4 Considerações finais

Esta revisão bibliográfica aborda separadamente dispositivos vestíveis e jogos sérios. O próximo capítulo apresentará a metodologia adotada neste estudo, detalhando os procedimentos específicos relacionados a cada um desses elementos.

3 Metodologia

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre Dispositivos Vestíveis, Interação Humano-Máquina, Jogos Sérios e Sincronização.

Após, foi realizado um experimento para identificar problemas de sincronismo relacionados ao *hardware* e *software*, onde foram realizados testes com 8 voluntários, todos com pés normais, ou seja, sem nenhum tipo de deficiência, não possuíam conhecimento prévio dos jogos aplicados, 5 voluntários utilizaram o jogo Acelera e 3 o jogo Chute ao gol. Na coleta de dados foram utilizadas gravações do pé e da tela do jogo para comparar com os arquivos de *log* e também foram disponibilizados formulários pré e pós-teste. Em ambos os jogos foram executados 24 exercícios, sendo eles 12 flexão dorsal e 12 flexão plantar. Após, a etapa de diagnóstico, em que foi possível identificar alguns problemas de sincronismo entre o *hardware* e o *software*, foram realizadas modificações no módulo de processamento dos sinais recebidos pelos sensores e foi realizado um teste em laboratório com o novo módulo embarcado no controlador da papete inteligente e os dois jogos testados previamente. Os resultados foram analisados quanto à taxa de amostragem, latência e satisfação do usuário. Por fim, um jogo sério simples foi elaborado para teste com a papete e o novo módulo de controle.

3.1 Materiais

3.1.1 *Hardware*

Para a execução deste estudo, empregou-se uma abordagem prática, envolvendo o uso de uma papete equipada com sensores. A comunicação entre a papete e o computador foi estabelecida por meio de um cabo USB (Figura 16), a comunicação da Papete com os jogos é feita via serial UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitte*). As taxas de transmissão entre a Papete e a *Unity* são previamente configuradas em 115200 bps (bits por segundo) (PEREIRA, 2022), a papete possui a numeração 41 seguindo o Sistema Brasileiro (BRA), essa papete serviu como componente fundamental para a coleta de dados relacionados ao movimento e interação dos pés durante determinadas atividades específicas. Foi utilizado um notebook Avell 1513-MXTI com configurações de fábrica.

3.1.2 *Software*

Este estudo contou com a utilização de dois jogos sérios como parte essencial da abordagem metodológica. O primeiro, "Acelera"(Figura 17), desenvolvido em 2020 por (FERREIRA et al., 2020), proporcionou uma plataforma interativa para avaliação de



Figura 16 – Hardware da papete inteligente. Elaborado pelo autor (2023)

aspectos específicos relacionados ao escopo da pesquisa. O segundo, "Chute ao Gol" (Figura 18), desenvolvido em 2023 vinculado ao projeto de pesquisa Desenvolvimento e Avaliação de Jogos Digitais para Membro Inferior Integrados a Tecnologias Vestíveis o qual foi submetido ao CEP da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) em 12/04/2023 e aprovado sob o CAAE: 69324823.8.0000.5150, ofereceu uma mecânica diferente na análise de movimentos específicos relacionados aos objetivos do estudo.

O jogo "Acelera", os participantes foram desafiados a realizar uma série de movimentos de flexão plantar e dorsal de forma sincronizada com eventos no jogo, como desviar de obstáculos. Por outro lado, o jogo "Chute ao Gol" apresentou uma mecânica diferente, focada na análise de movimentos específicos relacionados aos objetivos do estudo. Neste jogo, os participantes foram desafiados a executar chutes virtuais em direção a um gol virtual, utilizando os movimentos de flexão plantar e dorsal.

3.2 Métodos

3.2.1 Coleta de dados

A coleta de dados neste estudo foi conduzida de maneira abrangente, incorporando diferentes abordagens para uma compreensão das variáveis em estudo. Além da gravação de vídeos do pé durante as interações com os jogos e o registro da tela, foram disponibilizados formulários pré e pós-teste aos participantes. A combinação desses métodos visa assegurar uma análise abrangente e aprofundada dos resultados, proporcionando uma compreensão mais completa do impacto das interações com os jogos sérios.

A coleta de dados também utilizou formulários digitais, elaborados através da plataforma Google Forms, para a aplicação dos formulários pré e pós-teste, bem como do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Essa abordagem permitiu uma coleta de dados eficiente e organizada, facilitando o registro e a análise das respostas dos participantes.

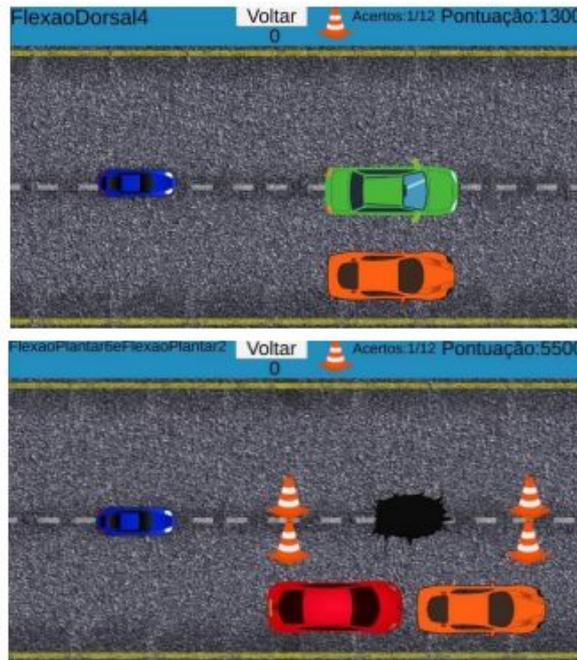


Figura 17 – Cenário do jogo Acelera. (FERREIRA et al., 2020)



Figura 18 – Cenário do jogo Chute ao Gol. Elaborado pelo autor (2023)

Para preservar o anonimato dos participantes, estes foram identificados por um *nickname* de sua escolha nos formulários digitais. Dessa forma, apenas os pesquisadores tiveram acesso aos dados individuais dos participantes, garantindo a confidencialidade das informações coletadas e o cumprimento das diretrizes éticas estabelecidas para a pesquisa.

3.2.2 Experimento com voluntários

A condução do experimento envolveu a participação ativa de voluntários na coleta de dados. Cada participante foi designado para jogar um único jogo, e receberam instruções detalhadas no início do experimento sobre como proceder. Inicialmente, os participantes responderam a questionários pré-teste, visando capturar informações sobre o seu perfil e ao final do jogo eles responderam a um questionário pós-teste para obter informações sobre suas experiências e percepções em relação ao jogo atribuído. Este método permitiu uma abordagem individualizada, proporcionando *insights* mais precisos sobre as respostas

dos participantes durante o experimento.

Durante as sessões do experimento, os voluntários interagiram com os jogos sérios "Acelera" onde os voluntários foram orientados a jogar por 6 fases sendo considerado o mínimo de 70% de acerto para passar automaticamente de uma fase para outra e "Chute ao Gol" onde foi orientado a intercalar entre 12 exercícios de flexão dorsal e 12 exercícios de flexão plantar. Enquanto suas interações eram registradas por meio de vídeos do pé e gravações da tela do jogo.

3.3 Edição de vídeo para realizar o sincronismo

No processo de coleta de dados, a técnica de edição de vídeo foi empregada para realizar o sincronismo entre as gravações do pé e os momentos específicos nas gravações da tela dos jogos "Acelera" e "Chute ao Gol". Essa abordagem foi utilizada para garantir uma análise precisa e alinhada temporalmente das interações dos participantes com os jogos.

Os vídeos do pé, capturando a ação física, foram meticulosamente alinhados com as gravações da tela dos jogos, que registraram as atividades virtuais. A sincronização por meio da edição de vídeo permitiu uma análise refinada e precisa, contribuindo para uma compreensão aprofundada das respostas do usuário e a inter-relação entre as ações físicas e virtuais.

Para essa edição, utilizou-se o *software* Clipchamp, uma plataforma *online* de edição de vídeo que oferece uma variedade de ferramentas para editar, os vídeos estão no formato MP4.

3.4 Análise dos vídeos e dos arquivos de *log*

A etapa subsequente ao processo de coleta de dados envolveu uma análise meticulosa dos vídeos registrados do pé durante as interações com os jogos e dos arquivos de *log* gerados durante as sessões. Essa análise abrangeu uma avaliação detalhada das ações físicas dos participantes, a dinâmica das interações virtuais e a correlação entre ambas.

Os vídeos do pé, sincronizados de maneira precisa com as gravações da tela por meio da edição de vídeo, permitiram uma compreensão aprofundada das respostas físicas dos participantes durante o uso dos jogos sérios. Simultaneamente, a análise dos arquivos de *log* proporcionou *insights* específicos sobre o desempenho e comportamento dos participantes dentro do ambiente virtual.

Para a análise dos arquivos de *log*, ao se obter os dados por meio de um arquivo de texto, esses dados foram passados para o formato csv, a taxa de amostragem em *Hertz* foi calculada a partir do total de sinais dividida pelo tempo total gasto em segundos,

foram contabilizados os sinais 1 que representa a flexão dorsal, -1 a flexão plantar e 0 que representa a posição neutra (Figura 19), a partir desses dados foram computadas a duração média da flexão plantar e dorsal de cada participante.

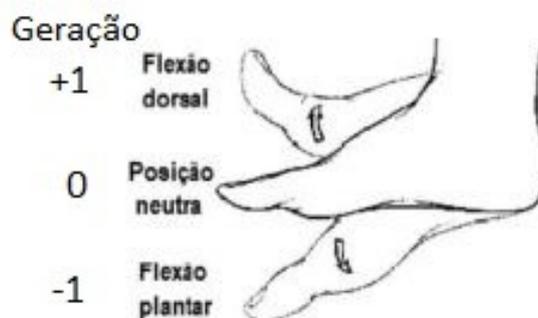


Figura 19 – Geração dos sinais. Elaborado pelo autor (2023)

4 Desenvolvimento

Nesse capítulo são apresentados os dados coletados dos testes com os dois jogos Acelera e Chute ao Gol, além do desenvolvimento de um jogo sério e como foi realizado a refatoração do código do controlador da papete.

4.1 Dados Coletados

4.1.1 Formulário Pré-teste

Durante a fase inicial do experimento, por meio do formulário pré-teste, foi coletado de maneira abrangente o perfil de cada participante. Esse formulário foi estruturado de forma a capturar informações sobre o perfil do participante e suas experiências prévias em relação a jogos e dispositivos vestíveis (Figura 20).

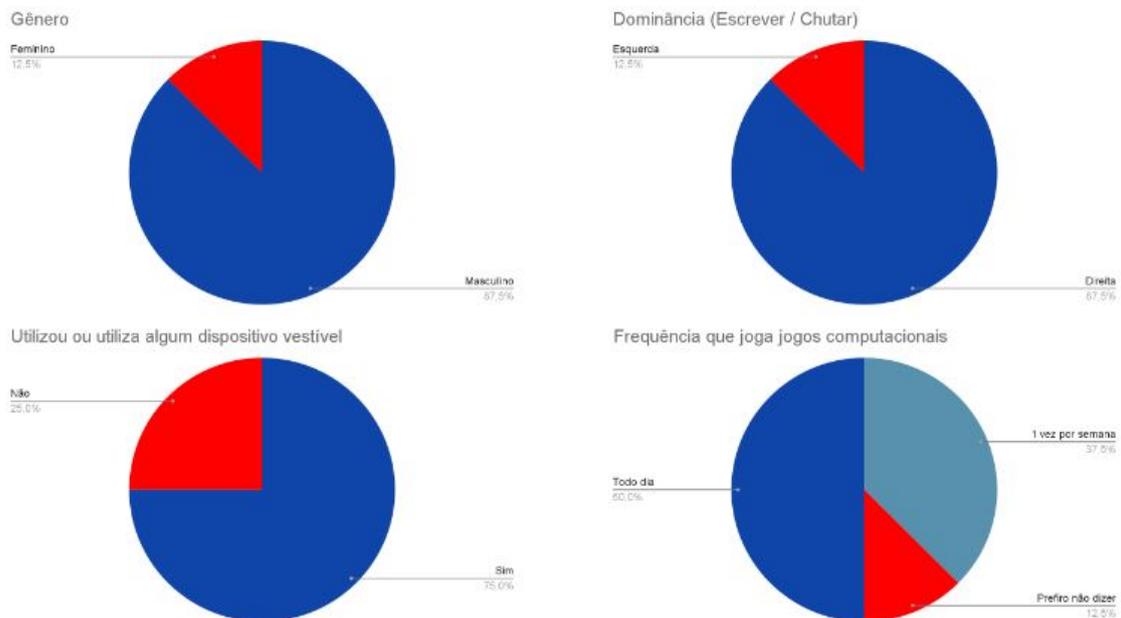


Figura 20 – Perfil dos participantes. Elaborado pelo autor (2023)

4.1.2 Formulário Pós-teste

No formulário pós-teste, foram feitas 6 perguntas com objetivo de coletar informações para avaliar a satisfação dos participantes em relação aos dispositivos vestíveis e aos jogos sérios.

- Como você se sentiu em relação a papete? (Sendo 1 estrela muito incômodo e 5 estrelas sem incômodo) (Figura 21).

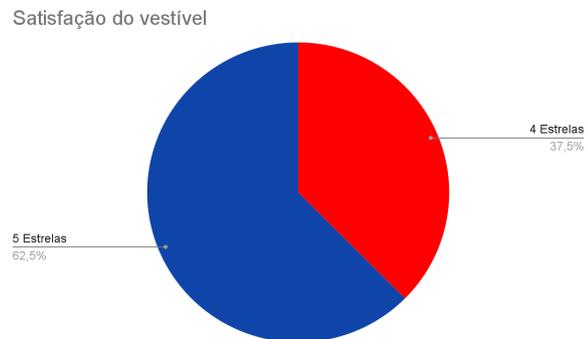


Figura 21 – Percepção de incômodo durante o jogo. Elaborado pelo autor (2023) .

- Como você se sentiu em relação a dificuldade no controle do jogo? (Sendo 1 estrela muita dificuldade e 5 estrelas sem dificuldades)(Figura 22).

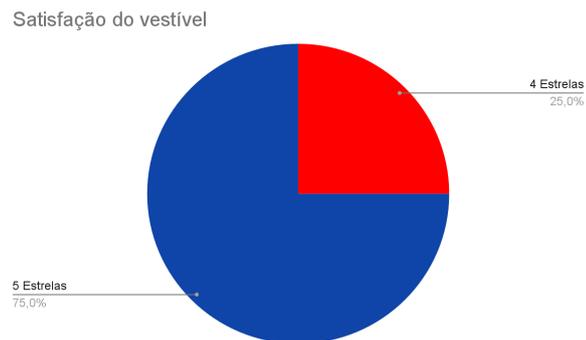


Figura 22 – Feedback sobre dificuldades de controle do Jogo. Elaborado pelo autor (2023)

- Você ficou frustrado quando o dispositivo pareceu não funcionar corretamente? (Sendo 1 estrela muito frustrado e 5 estrelas não frustrado) (Figura 23).

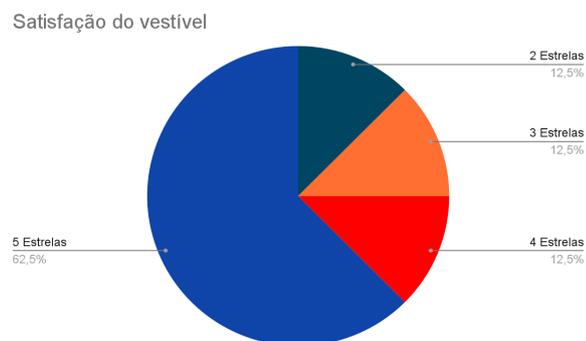


Figura 23 – Feedback sobre Frustração com o Funcionamento do Dispositivo. Elaborado pelo autor (2023) .

- Você se sentiu desconfortável em algum momento, por causa da restritividade de movimentos por causa dos sensores? (Sendo 1 estrela muito desconforto e 5 estrelas sem desconfortos) (Figura 24).

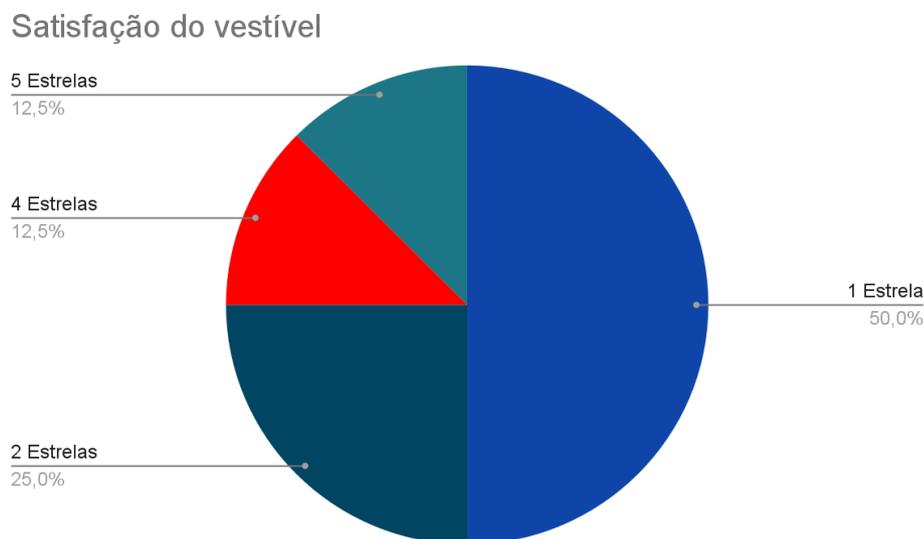


Figura 24 – Feedback sobre Restritividade de Movimentos Causada pelos Sensores. Elaborado pelo autor (2023) .

- O que você não gostou do jogo? (Tabela 1)

Tabela 1 – Feedback sobre pontos negativos do jogo.

Voluntários	O que você não gostou do jogo?	Jogo
Voluntário 1	Meio lento o carro.	Acelera
Voluntário 2	Achei um pouco parado.	Chute ao Gol
Voluntário 3	Não teve nada que me fez nao gostar do jogo.	Chute ao Gol
Voluntário 4	Sem elementos que não gostei.	Chute ao Gol
Voluntário 5	A lentidão do carro e do jogo em geral me deixou frustrada.	Acelera
Voluntário 6	Lento, repetitivo.	Acelera
Voluntário 7	Gostei muito do jogo, só melhoraria a fluidez da animação.	Acelera
Voluntário 8	Apenas o fato de manter o pé muito tempo levantado.	Acelera

Fonte: Elaborado pelo autor

- O que poderia ser feito para tornar o jogo mais atrativo? (Tabela 2)

Tabela 2 – Sugestões para aprimorar a atratividade do jogo.

Voluntários	O que poderia ser feito para tornar o jogo mais atrativo?	Jogo
Voluntário 1	Deixar um pouco mais rápido.	Acelera
Voluntário 2	Melhorar a animação da bola indo ao gol e, aumentar as possibilidades de trajetória.	Chute ao Gol
Voluntário 3	A cada realização de movimento, para o próximo poderia esperar a bola se estabelecer para aparecer o movimento a ser feito.	Chute ao Gol
Voluntário 4	O jogo já está adequadamente atrativo, principalmente para quem gosta de futebol.	Chute ao Gol
Voluntário 5	Deixar o jogo mais fluido, melhorando o delay.	Acelera
Voluntário 6	Acredito que menos tempo de um obstáculo para outro tornaria mais atrativo, principalmente para as crianças.	Acelera
Voluntário 7	Níveis de dificuldade de acordo com o progresso do paciente.	Acelera
Voluntário 8	Interface, movimentos do jogo.	Acelera

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Jogo sério - Guardião da Fortaleza

4.2.1 Estória

Há séculos, a pacífica cidade de Etheria prosperava na harmonia de suas terras. No entanto, uma antiga profecia alertava sobre um período sombrio que ameaçaria o reino. Um exército de criaturas malignas, conhecidas como as Sombras Desoladoras, despertou de seu sono eterno.

Estas criaturas avançaram implacavelmente, destruindo tudo em seu caminho. O povo de Etheria, desesperado, construiu uma imponente torre no coração da cidade como último bastião de esperança. A torre era dotada de escudos mágicos, criados por habilidosos magos que canalizavam a energia dos elementos para proteger a última fronteira.

O Guardião da Fortaleza, foi convocado para liderar a defesa. A cidade confia nele para enfrentar as hordas das Sombras Desoladoras e manter a torre de pé. A batalha pela sobrevivência começou, e a cada inimigo derrotado, você se aproxima de descobrir o segredo por trás do despertar dessas criaturas.

A cada ciclo lunar, novos inimigos surgirão. O destino de Etheria está em suas mãos, e apenas o Guardião da Fortaleza pode decidir se a cidade sucumbirá às Sombras Desoladoras ou se prevalecerá contra a escuridão.

4.2.2 Implementação

O jogo "Guardião da Fortaleza" foi desenvolvido na plataforma de jogos *Unity*, a IDE utilizada foi o *Editor Unity* versão 2022.3. É um jogo 2D que significa que os gráficos e a jogabilidade ocorrem em um plano horizontal e vertical, juntamente com a utilização de imagens sem direitos reservados. O jogo é *singleplayer* e possui 2 cenas estruturadas de maneira sequencial, começando por uma cena inicial que apresenta o menu e outra do jogo. A linguagem utilizada na criação do jogo é a C#, amplamente utilizada na *Unity* para programar jogos e aplicações interativas, no trecho de código (*Listing 1*) abaixo é apresentado a função que desempenha um papel importante na integração do jogo com a comunicação serial, permitindo a leitura de dados externos e sua utilização dentro do ambiente do jogo, além de fornecer *feedback* visual é gerado os arquivos de *log* utilizados no trabalho.

```
1
2 void FixedUpdate() {
3     hptxt.GetComponent<TextMesh>().text = "HP Torre: " + towerHp;
4     if (sp.IsOpen)
5     {
6         try
7         {
8             sinal_recebido = sp.ReadLine();
9             Debug.Log(sinal_recebido);
10            using (StreamWriter writer = new StreamWriter
11 ("C:\\Users\\1513 X-MXTI\\Desktop\\TCC\\Jogo\\Guardiao da Fortaleza\\
12 arquivolog.txt", true))
13                {writer.WriteLine(sinal_recebido);}
14        }
15        catch (System.Exception)
16        {
17            Debug.Log("Falha ao receber");
18        }
19    }
20    else{
21        Debug.Log("Falha ao abrir");
22    }
23
```

Listing 1 – Função que gera os arquivos de *log*

4.2.3 Jogabilidade

Em "Guardião da Fortaleza", a jogabilidade é centrada na habilidade estratégica dos jogadores em defender a fortaleza contra constantes ondas de inimigos. Possuem mecânicas em tempo real, onde os jogadores assumem o controle direto da fortaleza, posicionando

escudos defensivos em pontos-chave para bloquear os ataques dos inimigos. A interação com o jogo é intuitiva, é utilizado a "Papete Inteligente" para ativar os escudos protetores estrategicamente posicionados.

O menu inicial (Figura 25) é possível escolher as configurações do jogo, o tempo de realização do exercício em "Tempo da Horda:" e a quantidade de repetições em "Rodadas Máximas:", ao clicar em 'Jogar' o jogador é direcionado para o início do jogo.



Figura 25 – Menu Inicial.

A tela principal do jogo (Figura 26), possui um cenário que retrata a parte de fora de uma cidade, uma torre e os escudos que são ativados quando é realizado os movimentos de flexão plantar e dorsal utilizando a papete. A flexão dorsal é associada à ativação do escudo superior, enquanto a flexão plantar corresponde à ativação do escudo inferior e na posição neutra corresponde à ativação do escudo central. Os ataques dos inimigos vem de uma determinada posição preestabelecida, onde o objetivo do jogador é impedir que esses ataques cheguem a torre da cidade.



Figura 26 – Tela do jogo

4.3 Refatoração do Código do Controlador da Papete

Os *scripts* de programação, desenvolvidos em linguagem C#, não apenas proporcionam a lógica do jogo, mas também permitem uma integração eficaz com o *hardware* Arduino.

O código do Arduino foi escrito em C++, tem como objetivo fazer a leitura de dados do sensor MPU-6050 (um sensor de giroscópio e acelerômetro) e enviar esses dados para um programa Unity3D através da porta serial. No trecho de código (*Listing 2*) é configurado a calibração e o *delay*. Para o *upload* do código modificado, foi utilizado o Arduino IDE versão 2.2.1.

Ao observar que no jogo Acelera o carro se deslocava de forma muito imprecisa, ou seja, ele não se mantinha de forma contínua, sinalizando então que a sensibilidade do sensor estava muito alta, houve a necessidade de realizar mudanças nas variáveis que determinavam quando era realizado a flexão dorsal e a flexão plantar. Foi realizados testes de tentativa e erro, onde houve a experimentação de valores, com isso chegando nos melhores resultados para se obter a sensibilidade desejada.

Originalmente, o código utilizava '*0.13' para calibrar os movimentos. Isso significa que os movimentos eram multiplicados por 0.13, o que resultava em uma sensibilidade excessiva, tornando os controles difíceis de manejar. Ao ajustar a calibração para /2 a variável `x_dorsi` responsável por determinar a flexão dorsal é calculada subtraindo metade da variável `x_inicial` de si mesmo, `x_inicial` corresponde ao valor inicial que o sensor retorna antes de realizar a calibração. Ao ajustar a calibração para /1 `x_plantar` responsável por determinar a flexão plantar é calculado adicionando `x_inicial` a si mesmo, com isso foi realizado a compensação, proporcionando uma sensação mais controlável e precisa para o jogador. Isso ajuda a evitar movimentos bruscos e imprecisos durante o jogo. No código original, o `delay` estava configurado para '`delay(500)`', o que significa que havia um atraso de 500 milissegundos entre as atualizações dos controles. Reduzindo o `delay` para '`delay(18)`', o intervalo entre as atualizações dos controles foi significativamente reduzido, proporcionando uma resposta mais rápida e fluida aos movimentos do jogador. Isso ajuda a garantir uma experiência de jogo mais ágil e imersiva, sem atrasos perceptíveis entre os movimentos e as ações no jogo. Não houve a implementação do tratamento de ruído

```
1
2 // calibração
3 X=AcX/10;
4 x_inicial=AcX/10;
5
6 if (calibra ==0)
7 {
8     x_dorsi = x_inicial-x_inicial/2;
9     x_plantar = x_inicial+x_inicial/1;
10    calibra=calibra+1;
11 }
12
13 //Serial.println(X);
14 //Serial.print("Dorsi: ");Serial.println(x_dorsi);
15 //Serial.print("plantar: ");Serial.println(x_plantar);
16 if (X<x_dorsi and X>x_plantar)
17 {
18     envia="0";
19 }
20 else
21 {
22     if (X>x_dorsi)
23     {
24         envia="1";
25     }
26     else
27     {
28         envia="-1";
29     }
30 }
31
32 // Chamada de função para envio de dados
33 sendData(envia);
34
35 delay(18); // Choose your delay having in mind your ReadTimeout in Unity3D
36 }
```

Listing 2 – Calibração e Delay

5 Resultados

No presente capítulo, é apresentada uma análise dos resultados obtidos a partir da avaliação dos arquivos de *log* do experimento com os dois jogos o "Acelera" e o "Chute ao Gol", assim como do novo jogo desenvolvido o "Guardião da Fortaleza".

Para se obter a taxa de amostragem em *hertz* é feito uma divisão de sinais recebidos pelo tempo de duração do vídeo do pé após edição para sincronizar o início e final do vídeo com o início e final do jogo. Ao analisar os arquivos de *log* constatou-se que, que os sinais recebidos dos jogos "Acelera" e o "Chute ao Gol" mantiveram uma média de 2 *hertz* (Tabela 3).

Tabela 3 – Taxas de amostragem.

Voluntários	Jogo	Tempo	Taxa de amostragem em <i>Hertz</i> (sinais/segundo)
Voluntário 1	Acelera	10:31	1,97
Voluntário 2	Chute ao Gol	05:53	1,97
Voluntário 3	Chute ao Gol	05:51	2,05
Voluntário 4	Chute ao Gol	05:56	1,97
Voluntário 5	Acelera	10:29	1,98
Voluntário 6	Acelera	10:41	2,01
Voluntário 7	Acelera	12:45	1,98
Voluntário 8	Acelera	10:55	1,90

Fonte: Elaborado pelo autor

Observou-se que no jogo Acelera havia mais 1's em relação ao jogo Chute ao gol, pois o Acelera possui descanso em determinados momentos do jogo, ao analisar os vídeos foi detectado que ao manter o pé em repouso continuava a geração de 1's, com isso uma alta taxa de geração de 1's foi obtida. No jogo Chute ao gol esperava-se que os arquivos de *log* tivessem 0's para indicar o repouso, mas isso não aconteceu, além disso esperava-se que os exercícios do chute ao gol fossem alternados de 5s em 5s mas a alternância real foi de em média 15s, provavelmente devido a taxa de atualização baixa do jogo (Tabela 4).

Após realizar a mudança no código do Arduino foi realizado um novo teste, onde observou-se aumento na taxa de amostragem para em média 50 *hertz* como demonstrado na (Tabela 5) e um aumento no total de sinais recebidos (Tabela 6).

Tabela 4 – Total de sinais.

Voluntários	Jogo	Total de Sinais	Sinal +1/total	Sinal -1/total
Voluntário 1	Acelera	1246	73%	27%
Voluntário 2	Chute ao Gol	698	50%	50%
Voluntário 3	Chute ao Gol	720	54%	46%
Voluntário 4	Chute ao Gol	702	52%	48%
Voluntário 5	Acelera	1247	83%	17%
Voluntário 6	Acelera	1291	77%	23%
Voluntário 7	Acelera	1461	65%	35%
Voluntário 8	Acelera	1246	73%	27%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 5 – Novos testes da taxa de amostragem.

Voluntário	Jogo	Tempo	Taxa de amostragem em Hertz (sinais/segundo)
Voluntário 9	Acelera	10:40	50,2
Voluntário 9	Chute ao Gol	01:59	51,4
Voluntário 9	Guardião da Fortaleza	01:26	50,5

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 6 – Novos testes do total de sinais.

Voluntário	Jogo	Total de Sinais	Sinal +1/total	Sinal -1/total
Voluntário 9	Acelera	32120	70%	30%
Voluntário 9	Chute ao Gol	6124	51%	49%
Voluntário 9	Guardião da Fortaleza	4305	54%	46%

Fonte: Elaborado pelo autor

6 Conclusão

O presente trabalho atingiu seus objetivos propostos, proporcionando uma análise sobre a viabilidade, impactos e desafios relacionados à sincronização de um dispositivo vestível do pé com jogos sérios. Ao realizar uma revisão da literatura, foi obtido uma compreensão dos fundamentos associados a jogos sérios, dispositivos vestíveis e sincronização.

A etapa subsequente focou na concretização prática desses conceitos, resultando na criação e implementação de um protótipo de um jogo sério. Os resultados obtidos com o protótipo demonstraram-se satisfatórios, superando as experiências proporcionadas por jogos anteriores. A utilização eficaz da sincronização entre dispositivos vestíveis e a interface do jogo parece contribuir para uma experiência de usuário mais envolvente e interativa.

Esse resultado obtido do protótipo não apenas fortalece a base conceitual do estudo, mas também sinaliza a viabilidade prática da integração de dispositivos vestíveis em jogos sérios. Este trabalho representa não apenas uma conclusão, mas também um ponto de partida para o contínuo desenvolvimento e aprimoramento.

Como parte dos trabalhos futuros, pode-se considerar a implementação e otimização de algoritmos de remoção de ruído, como o janelamento móvel, para os sinais capturados pela papete. Isso envolveria o desenvolvimento de códigos específicos para processar os dados brutos da papete e aplicar técnicas de filtragem adaptativa para remover o ruído indesejado. Realizar estudos clínicos para avaliar a eficácia dos jogos sérios na reabilitação de pacientes com fascite plantar e pé torto congênito, comparando os resultados com métodos tradicionais de fisioterapia. Projetar e desenvolver novos jogos sérios específicos para a reabilitação de pacientes com essas condições, incorporando feedback dos usuários e adaptando os jogos de acordo com as necessidades individuais.

Referências

- ADERINTO GBOLAHAN OLATUNJI, M. O. A. M. E. G. A. N.; EGBUNU, E. Exploring the efficacy of virtual reality-based rehabilitation in stroke: a narrative review of current evidence. *Annals of Medicine*, Taylor Francis, v. 55, n. 2, p. 2285907, 2023. PMID: 38010358. Citado na página 14.
- AGBO, F. J. et al. Design, development, and evaluation of a virtual reality game-based application to support computational thinking. *Educational technology research and development*, Springer, v. 71, n. 2, p. 505–537, 2023. Citado na página 18.
- ALSHURAF, N. et al. Designing a robust activity recognition framework for health and exergaming using wearable sensors. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, v. 18, n. 5, p. 1636–1646, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 16.
- ARENAS, A. et al. Synchronization in complex networks. *Physics Reports*, v. 469, n. 3, p. 93–153, 2008. ISSN 0370-1573. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- AZEVEDO, G. et al. Um jogo sério controlado por dispositivo vestível para exercícios de inversão e eversão do pé. In: . [S.l.: s.n.], 2021. Citado 3 vezes nas páginas 6, 8 e 18.
- BALDI, T. L. et al. Upper body pose estimation using wearable inertial sensors and multiplicative kalman filter. *IEEE Sensors Journal*, v. 20, n. 1, p. 492–500, 2020. Citado 3 vezes nas páginas 6, 20 e 21.
- Bauerfeind Brasil. *Fascite Plantar: o que é e como identificar*. 2023. Acesso em: 22 de fevereiro de 2024. Disponível em: <<https://www.bauerfeind.com.br/fascite-plantar-o-que-e-e-como-identificar>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 9.
- BLAST, N. *Nintendo Wii: O console revolucionário*. 2018. Acesso em: 22 de fevereiro de 2024. Disponível em: <<https://www.nintendoblast.com.br/2018/04/nintendo-wii-console-revolucionario.htm>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 11.
- BOCCALETTI, S. et al. The synchronization of chaotic systems. *Physics Reports*, v. 366, n. 1, p. 1–101, 2002. ISSN 0370-1573. Citado na página 19.
- BREWSTER, S. et al. Multimodal 'eyes-free' interaction techniques for wearable devices. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2003. (CHI '03), p. 473–480. ISBN 1581136307. Citado na página 16.
- CHIARATO, A. C. et al. OS JOGOS SÉRIOS COMO FORMA DE APRENDIZAGEM NA SAÚDE. 2018. Citado na página 17.
- CLAYPOOL, M.; FINKEL, D. The effects of latency on player performance in cloud-based games. In: *2014 13th Annual Workshop on Network and Systems Support for Games*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–6. Citado na página 21.
- CNET. *Preview do Razer Nabu*. 2015. Acesso em: 22 fev. 2024. Disponível em: <<https://www.cnet.com/reviews/razer-nabu-2015-preview/>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 11.

CORREA, A. et al. *Tecnologias aplicadas em Educação e Saúde*. [S.l.: s.n.], 2021. ISBN 9786587672175. Citado na página 17.

Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas. *World Population Prospects - Population Division - United Nations*. 2022. Acesso em: 22 de fevereiro de 2024. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 9.

DETERDING, S. et al. From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In: *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 9–15. Citado na página 19.

DIAS, T. d. S. et al. As contribuições da gameterapia no desempenho motor de indivíduo com paralisia cerebral. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*, Universidade Federal do Pará, v. 25, n. 3, p. 575–584, 2017. Citado na página 10.

FERNANDES, F. G.; CARDOSO, A.; JUNIOR, E. A. L. Feel you arm: Serious game para apoio à reabilitação utilizando dispositivo vestível myo. In: ESCOLA POLITECNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*. São Paulo, SP, 2016. ISSN 2179-2259. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 16.

FERNANDES, F. G. et al. Uma estratégia para suportar interação humanocomputador de crianças com deficiências nos membros superiores por meio de dispositivo vestível. Universidade Federal de Uberlândia, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 10.

FERREIRA, D. et al. De-senvolvimento de um jogo sério controlado por dispositivo wearable para exercicios de dorsiflexão e flexão plantar. In: *Proceedings of the Simpósio Brasileiro de Games e Entretenimento Digital*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 7–10. Citado 8 vezes nas páginas 6, 11, 12, 14, 15, 18, 22 e 24.

FERREIRA, R. C. Talalgia: plantar fasciitis. *Revista Brasileira de Ortopedia*, Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia, v. 49, n. 3, p. 213–217, May 2014. ISSN 0102-3616. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rboe.2014.03.012>>. Citado na página 8.

FREITAS, A. de. *Design de Interface Humano-Computador*. 2017. Disponível em: <<https://moodle.ead.unipar.br/materiais/webflow/design-de-interface-humano-computador/documents/design-de-interface-humano-computador.pdf>>. [s.l.: s.n.]. Citado na página 17.

G1. *Gameterapia auxilia no tratamento de idosos com doenças graves em Goiás*. 2015. Acesso em: 22 de fevereiro de 2024. Disponível em: <<https://g1.globo.com/goias/noticia/2015/04/gameterapia-auxilia-no-tratamento-de-idosos-com-doencas-graves-em-go.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 10.

GIAXA, A. C. A. M. et al. A utilização do jogo como recurso terapêutico no processo de hospitalização da criança. *Revista da SBPH*, scieloapsic, v. 22, p. 280 – 305, 06 2019. ISSN 1516-0858. Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-08582019000100015&nrm=iso>. Citado na página 10.

GLAROS, C.; FOTIADIS, D. I. Wearable devices in healthcare. In: *Intelligent paradigms for healthcare enterprises*. [S.l.]: Springer, 2005. p. 237–264. Citado na página 15.

- INOR - Instituto de Oncologia do Recife. *Post de imagem no Facebook*. 2019. Acesso em: 22 de fevereiro de 2024. Disponível em: <<https://www.facebook.com/inor.official/photos/a.1308660945953892/1338307539655899/?type=3>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 8.
- KERN, F. et al. Immersive virtual reality and gamification within procedurally generated environments to increase motivation during gait rehabilitation. In: *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 500–509. Citado na página 14.
- KIILI, K. Digital game-based learning: Towards an experiential gaming model. *The Internet and Higher Education*, Elsevier, v. 8, n. 1, p. 13–24, 2005. Citado na página 19.
- MARFISI-SCHOTTMAN, I.; GEORGE, S.; TARPIN-BERNARD, F. Tools and methods for efficiently designing serious games. In: *Proceedings of the 4th European Conference on Games Based Learning ECGBL*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 226–234. Citado na página 21.
- MCGONIGAL, J. *Reality Is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World*. [S.l.]: Penguin, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 17.
- MORTAZAVI, B. et al. Near-realistic mobile exergames with wireless wearable sensors. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, v. 18, n. 2, p. 449–456, 2014. Citado na página 14.
- MOTTI, V. G. Wearable health: Opportunities and challenges. In: *Proceedings of the 13th EAI International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019. (PervasiveHealth'19), p. 356–359. ISBN 9781450361262. Citado na página 17.
- PEREIRA, E. J. D. S. *Jogo para Reabilitação do Pé Torto Congênito*. Ouro Preto, Brasil: [s.n.], 2022. Monografia de Conclusão de Curso. Acesso em: 28/01/2022. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 22.
- PÉREZ, J.; CASTRO, M.; LÓPEZ, G. Serious games and ai: Challenges and opportunities for computational social science. *IEEE Access*, v. 11, p. 62051–62061, 2023. Citado na página 10.
- PLOTZ, T. et al. Automatic synchronization of wearable sensors and video-cameras for ground truth annotation – a practical approach. In: *2012 16th International Symposium on Wearable Computers*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 100–103. Citado 3 vezes nas páginas 6, 19 e 20.
- ROCHA, F. et al. Gameterapia na terceira idade: uma revisão. *Revista JRG de Estudos Acadêmicos*, v. 6, n. 13, p. 1499–1506, out. 2023. Disponível em: <<https://revistajrg.com/index.php/jrg/article/view/732>>. Citado na página 9.
- RODRÍGUEZ, M. L. et al. Personalized virtual reality environments for intervention with people with disability. *Electronics*, v. 11, p. 1586, 05 2022. Citado na página 14.
- SA, J. N. B. d. et al. Use of augmented reality and artificial intelligence in rehabilitation. *Journal of Engineering Research*, v. 3, n. 31, 2023. ISSN 2764-1317. Citado na página 10.
- TANENBAUM, A. S.; STEEN, M. V. *Distributed Systems: Principles and Paradigms*. 1. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2002. ISBN 0-13-088893-1. Citado na página 19.

TCHANTCHANE, R. et al. A review of hand gesture recognition systems based on noninvasive wearable sensors. *Advanced Intelligent Systems*, v. 5, n. 10, p. 2300207, 2023. Citado na página [17](#).

VIEIRA, G. d. P. et al. Virtual reality in physical rehabilitation of patients with Parkinson's disease. *Journal of Human Growth and Development*, sciELOpepsic, v. 24, p. 31 – 41, 00 2014. ISSN 0104-1282. Citado na página [14](#).