UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES
BRUNO TOSHIO GOMES GUNJI

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA RESPONSIVO COM IMERSÃO EM AMBIENTE VIRTUAL INTEGRADO EM PLATAFORMA DE FORÇA BIAXIAL PARA TREINAMENTO DE EQUILÍBRIO.

Mogi das Cruzes, SP
2023

UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES

BRUNO TOSHIO GOMES GUNJI

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA RESPONSIVO COM IMERSÃO EM AMBIENTE VIRTUAL INTEGRADO EM PLATAFORMA DE FORÇA BIAXIAL PARA TREINAMENTO DE EQUILÍBRIO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade de Mogi das Cruzes como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Biomédica.

Área de Concentração**:** Informática Biomédica e Engenharia Clínica.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Pereira da Silva

Mogi das Cruzes, SP

2023

FINANCIAMENTO



Ficha catalográfica
Universidade de Mogi das Cruzes - Biblioteca Central

Gunji, Bruno Toshio Gomes
G975d Desenvolvimento de sistema responsivo com imersão em ambiente virtual integrado em plataforma de força biaxial para treinamento de equilíbrio / Bruno Toshio Gomes Gunji. -- Mogi das Cruzes, SP: Universidade de Mogi das Cruzes, 2023.
75 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) -- Universidade de Mogi das Cruzes, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Alessandro Pereira da Silva.
Inclui bibliografia.

1. Plataforma de força 2. Reabilitação 3. Sistema responsivo I. Silva, Alessandro Pereira da II. Universidade de Mogi das Cruzes III. Título

CDD 610.28

Elaborada por Maria Cristina Alves Silva Xavier – CRB-8/10077

Tel.: (11) 4798-7000
0800 19 2001
www.umc.br

ATAS

ATA DA SESSA.O PUBLICA DE APRESENTA<;::Ao DE DISSERTA<;::Ao DE MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMEDICA DA UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES

As quatorze horas do dia vinte e oito de fevereiro de dois mil e vinte e !Tes, pela Universidade de Mogi das Crnzes, realizou-se a defesa de disse1ta9ao intitulada "DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA RESPONSIVO COM IMERSAO EM AMBIENTE VIRTUAL INTEGRADO EM PLATAFORMA DE FOR<;:A BIAXIAL PARA TREINAMENTO DE EQUILIBRIO" para obten9ao do grau de mestTe pelo(a) candidato(a) **Bruno Toshio Gomes Gunji.** Tendo sido o nfanero de creditos alca119ados pelo(a) mesmo(a) no total de 50 (cinquenta), a saber: 26 unidades de credito em disciplinas de p6s-gradua9ao e 24 unidades de credito no preparo da disserta9ifo, o(a) aluno(a) perfaz assim os requisitos para obten9ao do grau de mesti-e. A comissao examinadora estava constituida dos senhores professores dontores: Alessandro Pereira da Silva, e Marcia Aparecida Silva Bissaco, da Universidade de Mogi das Cruzes, e Mario Oliveira Lima, da Universidade do Vale do Paraiba, sob a presidencia do primeiro, como orientador da disse1ta9ao. A sessao publica da defesa de disse1ta9ao foi aberta pelo senhor presidente da comissao que apresentou o(a) candidato(a). Em seguida o(a) candidato(a) realizou um.a apresenta9ao oral da disse1ta9ao. Ao final da apresenta9ao da disse1ta9ao, seguiram.-se as argui9oes pelos membros da comissao exam.in.adorn. A seguir a comissao, em sessao secreta, confonne julgamento discriminado por cada membro, considerou o(a) candidato(a)

APROVADO por **UNANIMIDADE**

(aprovado(a) lreprovado(a)) (1uuurim1dade/maioria)

Mogi das Cruzes, 28 de fevereiro de 2023.

Comissao Examinadora	Julgamento
Mario Oliveira Lima Prof. Dr. Mario Oliveira Lima	**APROVADO** (apro-,;ado{a)ITcprovado(a)
Marcia Aparecida Silva Bissaco Assinado de forma digital por Marcia Aparecida Silva Bissaco Dados: 2023.03.02 16:13:53 -03'00' Prof' Dr' Marcia Aparecida Silva Bissaco	**APROVADO** (aprovado(a)IYcprovado(a)
Assinado de forma digital por **Alessandro Pereira da Silva** Dados: 2023.02.28 15:24:19 --03'00' Prof. Dr. Alessandro Pereira da Silva	**APROVADO** (aprovado(a)/Tcprovado(a)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Dr. Alessandro Pereira da Silva pela oportunidade de ingressar na área de pesquisa junto com sua tutoria no projeto.

Agradeço também aos demais professores e aos alunos do Núcleo de Pesquisa Tecnológicas que me ajudaram e apoiaram nesta pesquisa.

Agradeço a minha família por todo o apoio e motivações a continuar a seguir em frente.

E agradeço à Fundação de Pesquisa de São Paulo (FAPESP, nº 2017 / 16292- 1) e a CAPES pelo apoio financeiro.

RESUMO

O equilíbrio é uma habilidade essencial para o funcionamento motor, causando uma maior sensação de segurança aos seres humanos e sendo indispensável para estabilidade durante a movimentação. A orientação postural fornece estímulos responsáveis pelas sensações de movimento que auxiliam a orientação sobre o ambiente. A redução de equilíbrio favorece o aumento de quedas que podem proporcionar algum tipo de lesão, sendo que, condições mais graves podem ocasionar enfermidades além de várias outras complicações. Atualmente, umas das estratégias para a manutenção do equilíbrio é a de treinamento multissensoriais, que consiste em series de exercícios com equipamento sensorizado de métricas estáticas e dinâmicas, auxiliando assim em uma melhora do equilíbrio. Um dos equipamentos utilizados é a plataforma de força que mede a flutuação do Centro de Massa (COM) e de Pressão (COP). Sendo assim, o objetivo do projeto foi desenvolver um jogo que controle e interaja em uma plataforma bipodal com rotação biaxial para auxiliar no treinamento de equilíbrio. O jogo foi desenvolvido utilizando o motor gráfico *Unity,* modelos 3D realizados no Blender além de utilizar uma plataforma de força bipodal com rotação biaxial desenvolvida no Laboratório de Ambientes Virtuais e Tecnologia Assistiva (LAVITA) na Universidade de Mogi das Cruzes (UMC). O jogo se baseia em uma corrida contra o tempo em uma descida de uma montanha, onde há obstáculos a ser evitados e pontos que ao ser ultrapassado a inclinação da plataforma de força é alterada, ocasionando com que usuário desloque o COM e COP e readéque seu equilíbrio em meio a mudanças das inclinações. Por fim foi realizado testes de funcionalidades de caixa preta, caixa branca, testes baseado em erros e falhas, projeto de casos de teste e teste de unidades para verificar as funcionalidades do software.

Palavras-chave: Plataforma de força. Jogos. Sistema Responsivo. Reabilitação.

ABSTRACT

Balance is an essential skill for motor functioning, causing a greater sense of security for human beings, and is indispensable for stability during movement. Postural orientation provides stimuli responsible for the sensations of movement that help with orientation on the environment. The reduction of balance favors the increase of falls, which may cause some type of injury, and more serious conditions may cause diseases, besides several other complications. Currently, one of the strategies for balance maintenance is multisensorial training, which consists of series of exercises with sensorial equipment for static and dynamic metrics, thus helping to improve balance. One of the equipments used is the force platform that measures the fluctuation of the Center of Mass (COM) and Pressure (COP). Thus, the objective of this project was to develop a game that controls and interacts on a bipodal platform with biaxial rotation to help balance training. The game was developed using the Unity graphic engine, 3D models made in Blender, and a bipodal force platform with biaxial rotation developed in the Laboratory of Virtual Environments and Assistive Technology (LAVITA) at the University of Mogi das Cruzes (UMC). The game is based on a race against time down a mountain, where there are obstacles to be avoided and points that when crossed the inclination of the force platform changes, causing the user to dislocate the COM and COP and regain his balance through inclination changes. Finally, black box and white box functionality testing, tests based on errors and failures, test case design and unit testing were performed to verify the software's functionality.

Keywords: Balance Board. Games. Responsive System. Rehabilitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de seleção dos artigos do estado da arte 14
Figura 2- Wii balance board e seleção do jogo do Nintendo Wii (WiiFit) 15
Figura 3 -Treinamento de remo de canoa de realidade virtual baseada em jogo 16
Figura 4 - Toap run.....17
Figura 5 - Componentes da estação do paciente e jogos (REWIRE) 18
Figura 6 - Sistema de reabilitação imersivo (IREX) 18
Figura 7 - Equipamento de Hsieh 19
Figura 8 - Jogo de Hsieh 20
Figura 9 - Equipamento Neurocom Balance Master.....20
Figura 10 - Dividat sensor.....21
Figura 11 - Wehab interfaciado com wii balance Board 22
Figura 12 - Controles do nintendo wii.....22
Figura 13 - Jogos da plataforma de jogo online (Gable) 23
Figura 14 - “Novo” projeto 25
Figura 15 - Criação de um projeto. A) temas de referência, B) tema selecionado, C) nome para o projeto, D) local que será salvo os arquivos do projeto, E) confirmação da criação do projeto, ...26
Figura 16 - Editor da unity. A) hierarquia, B) cena, C) jogo, D) projeto, E) console, F) animador, G) animação, H) inspetor 26
Figura 17 - Blender.....27
Figura 18 - Plataforma de força bipodal com rotação biaxial 28
Figura 19 - Diagrama de blocos das etapas do desenvolvimento.....29
Figura 20 - Funcionamento do jogo.....37
Figura 21 - Diagrama de Caso de uso. A) diagrama para o jogador. B) diagrama para o fisioterapeuta.....38
Figura 22 - Controles. A) configuração de controle com Joystick. B) configuração com teclado 39
Figura 23 - Configuração de controle com os sensores de pressão.....40
Figura 24 - Prototipagem da inicialização do jogo.....41
Figura 25 - Protótipo da tela inicial 42
Figura 26 - Conexão dos microcontroladores ao jogo 43
Figura 27 - Funcionalidade 1 – gerações de mapa. A) mapa aleatório 1, B) mapa aleatório, C) mapa aleatório 3, D) mapa aleatório 4.....43
Figura 28 - Funcionalidade 2 – protótipo do check point 44

Figura 29 - Prototipagem de fim da pista de fim de jogo 45
Figura 30 - Prototipagem da interface final.....45
Figura 31 - Requisição de inclinação.....46
Figura 32 - Prototipagem de interface de usuário.....47
Figura 33 - Cenários. A) montanha 1, B) montanha 2, C) montanha 3, D) rocha 1, E) rocha 2, F) rocha 3, G) arvore 1, H) arvore 2, I) arvore 3 47
Figura 34 - Jogo no software unity com a verificação de erro. A) Console da Unity ilustrando se há algum problema interno na codificação enquanto o programa está sendo testado.....50
Figura 35 - Teste Baseado em Falhas e Erros.....51
Figura 36 - Teste de Projeto de Casos.....52
Figura 37 - Teste de Unidade - Teclado.....53
Figura 38. Teste de Unidade - Joystick 53
Figura 39 - Teste de Unidade - Plataforma de Força 54
Figura 40 - Teste de Unidade - Funcionalidades Geral.....55
Figura 41 - Equipamento de segurança da plataforma de força. A) Cinta, B) Barras laterais 56
Figura 42 - Pontuação escala de usabilidade de sistemas.....57
Figura 43 - Inicialização do jogos. A) logo da universidade de mogi das cruzes, B) logo do laboratório de ambientes virtuais e tecnologia assistiva 59
Figura 44 - Tela inicial do jogo. A) seleção de modo de jogo, B) seleção de controles.....60
Figura 45 - Começo do jogo. A) começo do jogo, B) velocímetro, C) temporizador 61
Figura 46 - Parte de finalização do jogo.....61
Figura 47 - Tela final. A) quantidade de colisões. B) botão de finalização do jogo, C) tempo total da partida.....62
Figura 48 - Check-point.....62
Figura 49 - Modelos texturizadas.....63
Figura 50 - Cenário com objetos modelados.....64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11

1.1 OBJETIVO GERAL 12

1.1.1 Objetivo Específico 12

2 CONTEXTUALIZAÇÃO 14

2.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA De ARTIGO DE CONTEXTUALIZAÇÃO 14

2.2 TRABALHOS CORRELATOS 14

3 MATERIAIS E MÉTODOS 25

3.1 FERRAMENTAS UTILIZADAS 25

3.1.1 Unity Hub 25

3.1.1.1 *Engine Unity* 26

3.1.2 Blender 27

3.1.3 Plataforma de Força Bipodal com Rotação Biaxial 28

3.2 PLANO DE DESENVOLVIMENTO 28

3.3 LEVANTAMENTOS DE REQUISITOS 29

3.3.1 Análise de Requisitos 29

3.3.1.1 Requisitos Funcionais 29

3.3.1.2 Requisitos Não Funcionais 35

3.4 DESENVOLVIMENTO DO JOGO 36

3.4.1 DIAGRAMAÇÃO 36

3.4.1.1 Diagramação dos Controles 38

3.4.2 Apresentação do Jogo 41

3.4.3 Etapas do Jogo 42

3.4.3.1 Tela Inicial 42

3.4.3.2 Conexão microcontrolador 42

3.4.3.3 Jogo 43

3.4.3.4 Reinício do Jogo 45

3.4.4 Implementação do Sistema Responsivo 46

3.4.4.1 Motores da Plataforma de Força 46

3.4.5 Características do Jogador 46
3.4.6 Cenário 47
3.5 TESTE E VALIDAÇÃO 48
3.5.1 Testes de Software 48
3.5.1.1 Teste de Caixa Preta 48
3.5.1.2 Teste de Caixa Branca 49
3.5.1.3 Teste baseado em Falhas e Erros 50
3.5.1.4 Teste de Projeto de Casos 52
3.5.1.5 Teste de Unidade 52
3.6 Avaliações Futuras 55
3.6.1 Avaliação de Usabilidade 55
3.6.1.1 System Usability Scale (SUS) 57
3.6.1.2 Avaliação da Experiência do Usuário 57
4 RESULTADOS 59
4.1 INICIALIZAÇÃO DO JOGO 59
4.2 JOGO 59
4.3 INTERFACEAMENTO 60
4.4 FINALIZAÇÃO DO JOGO 61
4.4.1 Inclinação 62
4.5 OBJETOS DE CENA 63
5 DISCUSSÃO 65
6 CONCLUSÃO 68
7 CRONOGRAMA 69
REFERÊNCIAS 70

1 INTRODUÇÃO

O equilíbrio é uma habilidade essencial para funcionalidade motora dos indivíduos e pode ser definido como a capacidade de manter a postura estável mesmo com perturbações externas (MANN *et al*., 2009). Essa habilidade é imprescindível para fornecer segurança e estabilidade durante os atos locomotores. (MANN *et al*., 2008).

Segundo Bell *et al* (1998), o equilíbrio é definido quando as forças atuantes em um corpo se neutralizam, independente do torque exercido. Pollock (2000), define o equilíbrio como a habilidade de manter, alcançar ou reestruturar o controle postural durante qualquer atividade.

Para que o indivíduo alcance a estabilidade postural é necessário utilizar diversos sistemas sensoriais, dentre os quais se destacam, o sistema vestibular, auditivo, somatossensorial e visual, que fornecem informações de acordo com os níveis de atenção fornecidos (LUNDY, 2004*).*

A orientação postural possui três estímulos principais, o primeiro sendo a expropriocepção, responsável pela sensação de posição e movimento de uma parte do corpo em relação ao ambiente, sendo representada pelo sistema vestibular, auditivo, somatosensorial e visual. O segundo estímulo é a Propriocepção, sendo responsável pelo senso de posição e movimento de uma parte do corpo relativa a outra, estando representada pelo sistema somatossensorial e visual. E por fim, a exterocepção é responsável por localizar um objeto no ambiente em relação a outro, representada pelo sistema auditivo e visual (KLEINER; SCHILITTLER; SÁNCHEZ, 2011).

Uma das possíveis causas que prejudicam o equilíbrio é a redução na intensidade de atividades físicas com o passar dos anos (YESILYAPRAK *et al*., 2016). Entretanto, não somente a falta de exercícios é relacionada com essa perda, como também, o desgaste das fibras musculares e articulares, assim podendo comprometer a interação sensório-motora e ocasionando redução no desempenho motor (SANTOS *et al*., 2015; RAHAL *et al*., 2015).

O prejuízo do equilíbrio pode favorecer o aumento de quedas, que por consequência pode aumentar o risco de fraturas, lacerações e luxações (LIM *et al*., 2015), sendo que em alguns casos, a perda de equilíbrio pode contribuir para condições mais graves que necessitam de cuidados de terapia intensiva em decorrência de quedas, principalmente em idosos (AYED *et al*., 2018).

Uma das estratégias para manutenção do equilíbrio postural é a do treinamento multissensorial, que consiste em uma série de exercícios com equipamentos sensorizados de métricas estáticas e dinâmicas, que podem ser realizadas em quaisquer ambiente (AN; SHAUGHNESSY, 2011).

Abordado os problemas em conjunto com a tecnologia, foram criados jogos para otimizar o treinamento do equilíbrio (GRANIC; LOBEL; ENGELS, 2014), por vezes utilizando de equipamentos já existentes no mercado.

Segundo Schröder *et al*. (2019), atualmente a literatura científica apresenta cada vez mais sistemas computadorizados baseados em jogos para o treino de equilíbrio e na maioria das vezes utilizam algum aparelho complementar, fazendo com que os movimentos do indivíduo gerem ações no software. A fim de analisar a utilização de jogos no treinamento de equilíbrio, o estudo de Phillips *et al* (2020), verificou que um jogo virtual associado com uma plataforma de força melhora o equilíbrio.

Dessa forma, considerando a aplicabilidade de uma plataforma de força dinâmica e a possibilidade de protocolos mais específicos, a combinação da desta com jogos, poderia ter efeitos mais significativos no equilíbrio postural do que uma plataforma de força estática. Além disso até o dado momento, o estudo realizado por (SCHRÖDER *et al*., 2019), não integram uma plataforma de força biaxial (dinâmica) com jogos, a ponto de que o software controle as ações do dispositivo, ou seja, apenas respondem a movimentos gerados sobre a plataforma. Sendo assim o desenvolvimento de um jogo de treinamento de equilíbrio que de forma responsiva interaja com uma plataforma de força dinâmica combinada com realidade virtual, pode oferecer efeitos mais significativos na imersividade e no equilíbrio postural.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema responsivo entre um jogo de treinamento de equilíbrio e uma plataforma de força bipodal com rotação biaxial integrado a realidade virtual.

1.1.1 Objetivo Específico

Para o desenvolvimento do projeto e visando atender o objetivo geral deste estudo serão abordados os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um jogo;
- Desenvolver a interface entre o jogo e a plataforma de força;
- Integrar a Realidade Virtual;
- Realização de testes de softwares

- Investigar possíveis aprimoramentos.

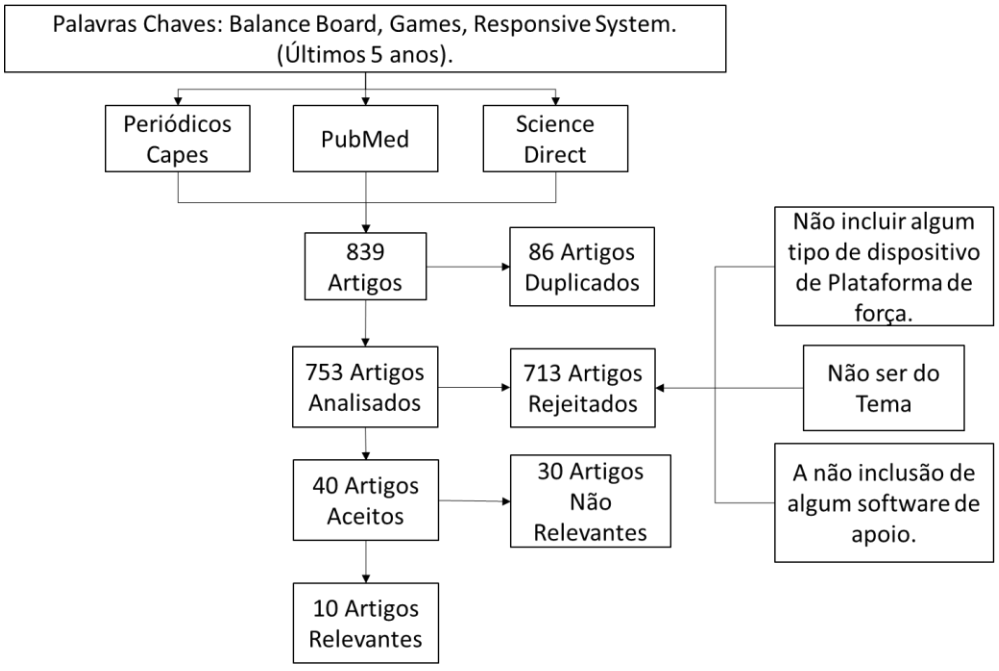
2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Nos itens seguintes, serão apresentados os métodos de buscas de projetos correlacionados com este estudo, além de uma breve explicação.

2.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA DE ARTIGO DE CONTEXTUALIZAÇÃO

No estado da arte serão abordados os sistemas e jogos para o treinamento de equilíbrio que utilizam plataformas de força. A estratégia de busca dos artigos (Figura 1) que integraram essa sessão abrangeu as bases de dados, *Pub Med*, *Science Direct* e Periódicos Capes. Para a busca foram utilizados os seguintes descritores: "*Balance Board*", "*Games*" e "*Responsive System*" com os booleanos "*AND*" e "*OR*". Os artigos encontrados foram pré-selecionas e julgados quanto a sua relevância de acordo com os critérios de inclusão e exclusão. Sendo os critérios de inclusão: Artigos completos; ter no máximo cinco anos de publicação e utilizar algum tipo de plataforma de força associada a um jogo. E os de exclusão: Artigos em idiomas que não fossem o português e o inglês; revisões integrativas, narrativas ou sistemáticas e artigos de estudo de caso.

Figura 1 - Processo de seleção dos artigos do estado da arte



2.2 TRABALHOS CORRELATOS

Nesta etapa do capítulo, serão apresentados os estudos que utilizaram jogos atrelados a alguma plataforma de força estática ou dinâmica bem como suas aplicações clínicas e seus efeitos no contexto terapêutico.

O estudo de Phillips *et al* (2018) utilizou uma plataforma de força estática, *Wii Balance Board*, associada a jogos do Nintendo *Wii Fit* ilustrado na (Figura 2), com intuito de verificar se treinamentos com jogos melhorariam habilidades motoras. Após a intervenção foi observado uma melhora nas tonturas, instabilidade posturais e consequentemente na redução de ocorrências de quedas, por sua vez concluiu-se que o treinamento com jogos em comparação a terapia convencional resultou em uma melhora significativa no equilíbrio.

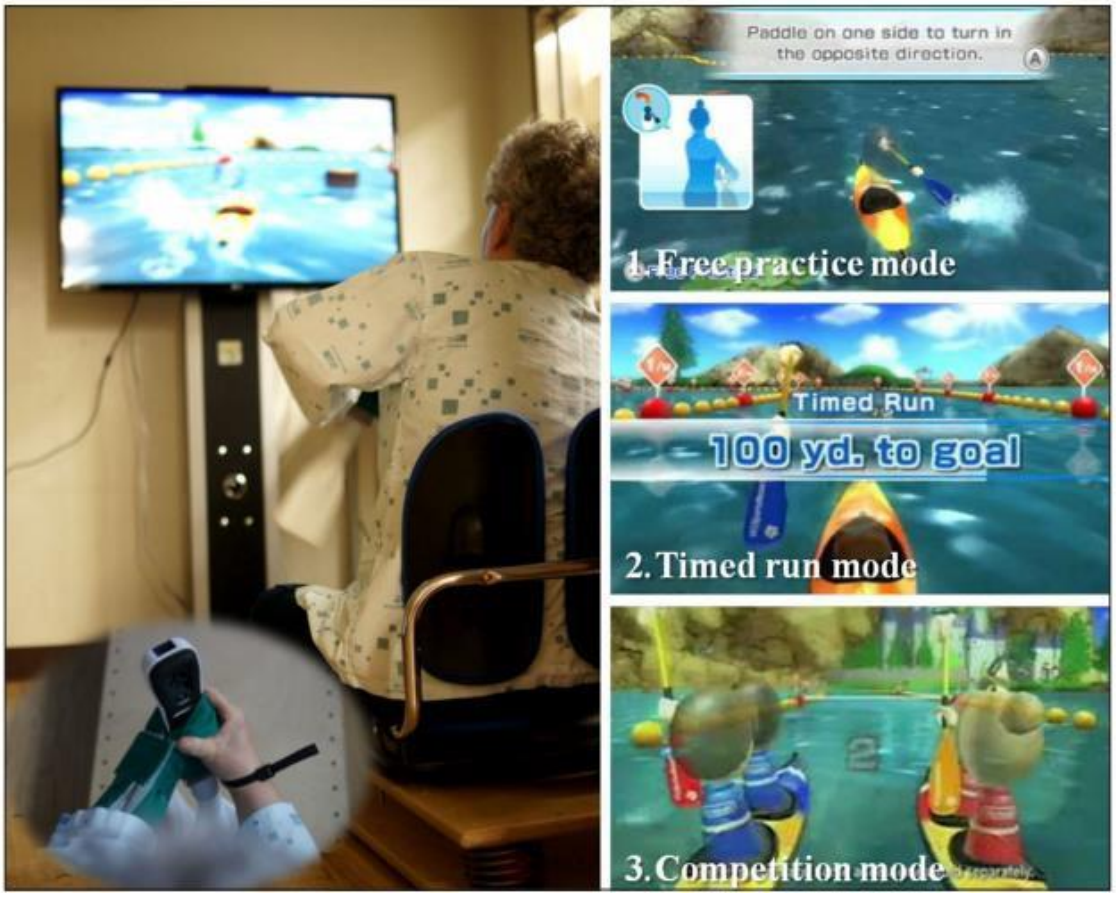
Figura 2- Wii balance board e seleção do jogo do Nintendo Wii (WiiFit)



Fonte: ©Nintendo

No trabalho de Lee *et al* (2018), foi desenvolvido um sistema que incluía o Wii Balance Board (WBB), um notebook, um software desenvolvido em C++ e um equipamento que simularia o exercício de canoagem (Figura 3), que consistia em uma cadeira acoplada a um trampolim (com finalidade de simular o balanço da canoa) juntamente com um controle de Nintendo Wii (©Nintendo), com objetivo de melhorar o equilíbrio de idosos. O treinamento com este sistema foi efetivo para as reações de equilíbrio provenientes do membro superior de forma estática, entretanto devido a aparelho do sistema e sua proposta ele não proporcionou resultados efetivos para membros inferiores.

Figura 3 -Treinamento de remo de canoa de realidade virtual baseada em jogo



Fonte: Lee *et al* (2018)

Nuic *et al* (2018), propôs um treinamento de reabilitação em ambiente virtual para indivíduos com Doença de Parkinson (DP) no qual utiliza um sensor de movimento (*Kinect* ©Nintendo) e um jogo customizado (Figura 4) para estimular a movimen tação dos membros superiores e inferiores. O jogo era associado a captura de movimento em tempo real, deste modo exibindo informações das direções de movimento esperado e os objetivos naquela interface. Participaram do estudo 10 pacientes com Doença de Parkinson. O treinamento com o jogo melhorou os distúrbios de marcha e de equilíbrio, além disso o jogo teve boa adesão pelos participantes.

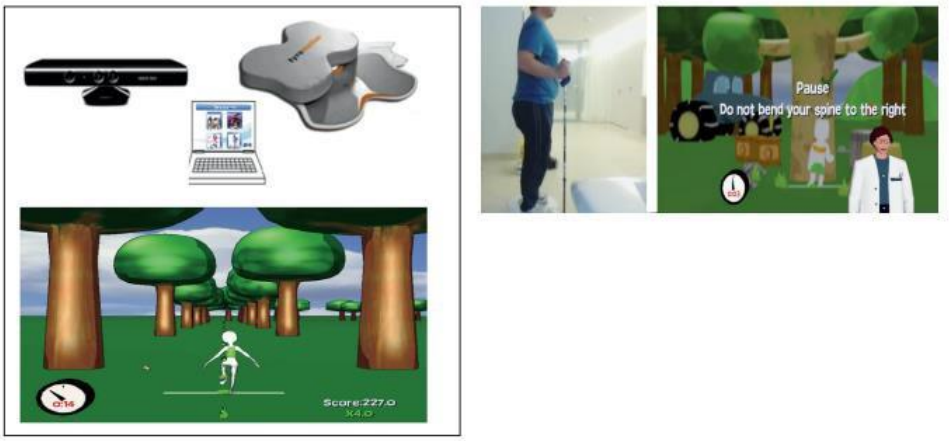
Figura 4 - Toap run



Fonte: Nuic *et al* (2018)

No estudo de Held *et al* (2018), foi utilizado um sistema *REWIRE*, (Figura 5) que integra jogos que monitoram continuamente o movimento do usuário numa plataforma de força. O *REWIRE* tem como objetivo permitir que os pacientes continuem a reabilitação intensiva em casa sob monitoramento remoto por especialistas, ela é composta pela estação do paciente (computador domiciliar e plataforma de força), estação hospitalar (configurações do sistema, sistema de agendamento de consultas e monitoramento) e estação de rede (integrador de estações). O estudo foi realizado com pacientes com Acidente Vascular Encefálico (AVE). Conclui-se que o sistema *REWIRE* para treinamento de marcha é viável para pacientes com AVE em treinamento domiciliar e são capazes de andar independente, entretanto sugeriu que a eficácia da terapia utilizando este sistema para a melhora de equilíbrio e de comprometimento devem ser melhor investigados.

Figura 5 - Componentes da estação do paciente e jogos (REWIRE)



Fonte: Held *et al* (2018)

Mills *et al* (2018), utilizou um sistema de Reabilitação Imersivo com Exercícios (IREX)(Figura 6) com inúmeros jogos realizados em uma plataforma oscilatória associados a sessões de reabilitação, com objetivo da melhora do equilíbrio. O estudo foi realizado com 11 jovens com Encefalopatia Crônica não Evolutiva da Infância (ECNEI). O sistema funciona com a captura da movimentação ativa dos voluntários aos objetos virtuais de cada jogo para a realização de tarefas, que desafiavam o equilíbrio dinâmico em pé ou sentado além da coordenação motora. Concluiu-se que o efeito da realidade imersiva beneficia o controle dinâmico do equilíbrio.

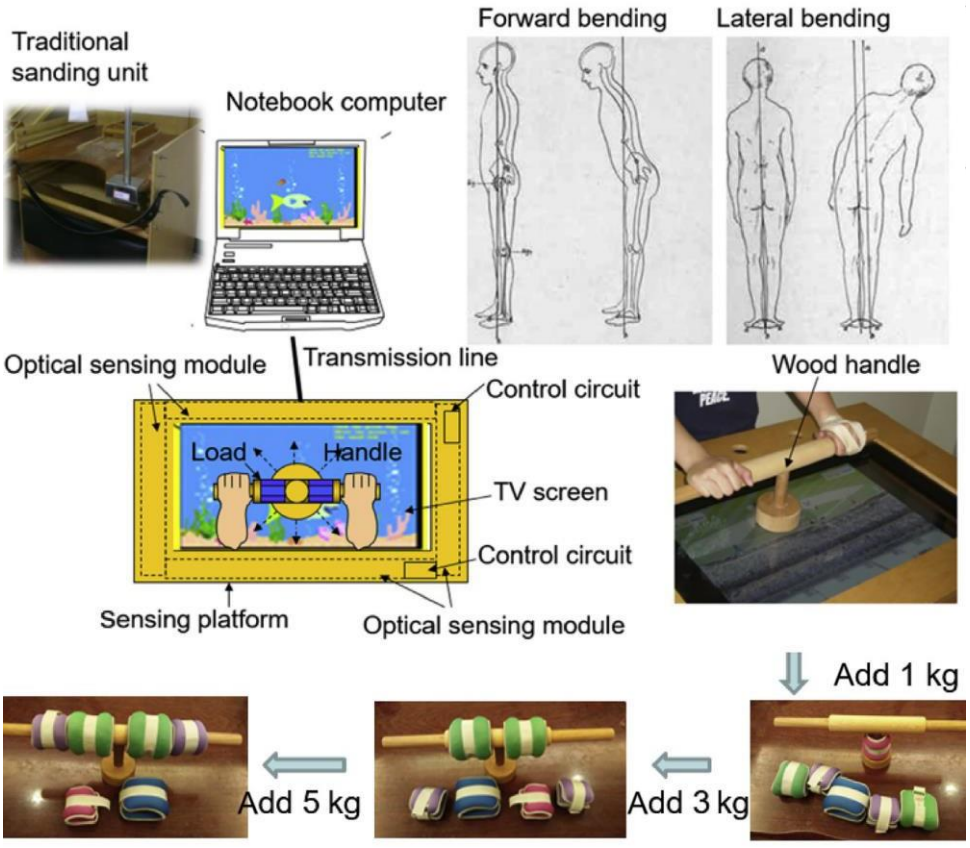
Figura 6 - Sistema de reabilitação imersivo (IREX)



Fonte: http://www.gesturetekhealth.com/products/irex acesso em: 10 de abril de 2022

No estudo de Hsieh (2018) foi criado um dispositivo para computador (Figura 7) com objetivo de melhorar o equilíbrio de pacientes que foram acometidos por AVE via uma plataforma de jogos (Figura 8). O dispositivo consiste em uma adaptação de um *sanding unit*, sendo que os participantes ficaram frontalmente a plataforma enquanto visualizavam um monitor que exibia progressivamente tarefas sequenciadas. O sistema de jogo é composto pela plataforma sensora, um cabo de madeira com peso ajustável e um notebook. A televisão localizada na parte inferior da plataforma é usada como *display* e quando a alça de madeira é movida na plataforma de detecção o módulo de detecção óptica recebe um sinal de luz. Os módulos de detecção óptica na lateral da plataforma, detectam a posição e o controlador envia o sinal para o notebook. O nível de carga pode ser ajustado em relação à amplitude de movimento de flexão do tronco. O dispositivo foi testado com 54 voluntários saudáveis e concluiu-se que depois das intervenções com o sistema houve melhora na capacidade de caminhada e no equilíbrio.

Figura 7 - Equipamento de Hsieh



Fonte: Hsieh (2018)

Figura 8 - Jogo de Hsieh



Fonte: Hsieh (2018)

No estudo de Miranda *et al* (2019) foi utilizado a medição do centro de pressão de uma plataforma de força *Balance Master* juntamente com um jogo comercial (*WiiFit,* ©Nintendo), com objetivo de transferir capacidades locomotoras e de equilíbrio, adquiridas durante o jogo para a realidade física do usuário. O sistema foi projetado para pacientes com AVE, sendo testado com 59 voluntários.

As avaliações foram feitas por meio das pontuações médias dos jogos e a viabilidade da transferência de melhorias de habilidades dos jogos foi obtido através de testes realizados na plataforma de força *NeuroCom Balance Master-System* (Figura 9). Entretanto o tempo de exposição a terapia computadorizada não foi o suficiente para demonstrar a capacidade de transferência imediata.

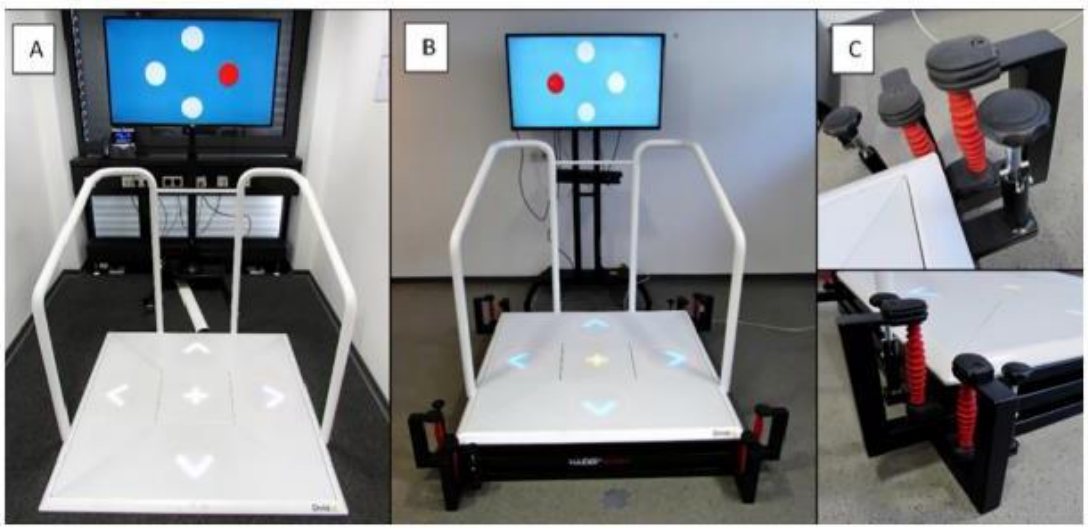
Figura 9 - Equipamento Neurocom Balance Master



Fonte: https://balanceandmobilitytherapy.com/technology-BalanceMaster.html acesso em: 10 de abril de 2022

No estudo de Bakker *et al* (2020) utilizou -se um treinamento baseado em *Exergames* utilizando um dispositivo *Dividat Senso*, ou seja, uma plataforma de treinamento com sensores de força ligados a uma tela, onde as informações de tempo e posição são detectadas pelos sensores embutidos na plataforma que em resposta recebem um *feedback* visual e auditivo sobre o desempenho (Figura 10), e teve como objetivo a melhora no equilíbrio através de uma plataforma instável. Ainda no estudo de Bakker *et al* (2020), foram recrutados 34 participantes saudáveis para testar o sistema. Verificou-se que a utilização de *exergames* tornam mais motivadora a terapia.

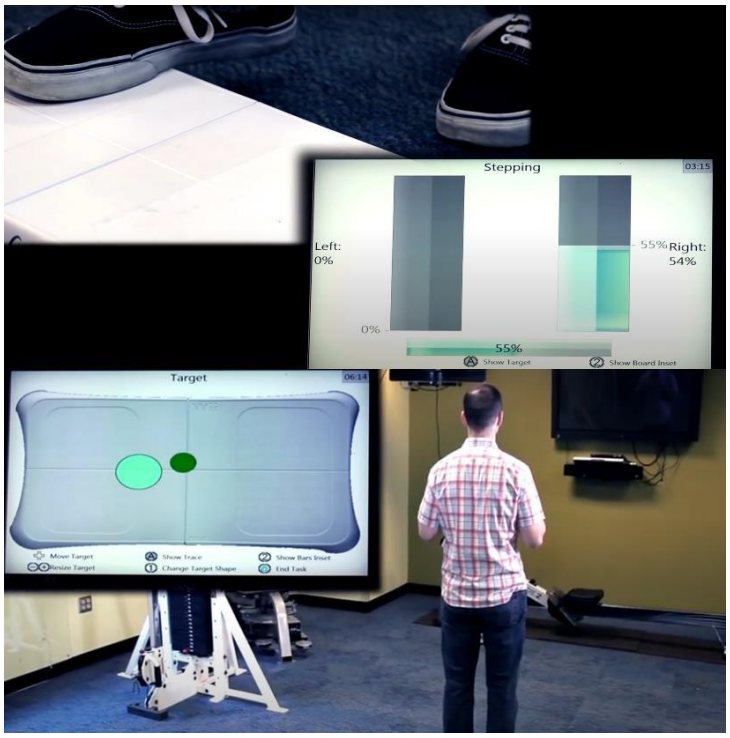
Figura 10 - Dividat sensor



Fonte: Bakker *et al* (2020)

No trabalho de Madhav e Pradhan (2020) utilizou-se a plataforma *Wii Balance Board* (©Nintendo) incluindo um interfaceamento customizado, *WeHab,* (Figura 11), com objetivo de avaliar a eficácia do dispositivo para a melhora do equilíbrio, onde foi avaliado sua acurácia para inferir o equilíbrio estático e dinâmico de pacientes pós AVE. Participaram do estudo 69 pacientes, sendo observado que a utilização clínica do dispositivo tem relevância e correlação com os testes clínicos de equilíbrio estático e dinâmico.

Figura 11 - Wehab interfaciado com wii balance Board



Fonte: https://www.nsf.gov/news/mmg/mmg_disp.jsp?med_id=78620 acesso em: 10 de abril de 2022

Kachmar *et al* (2021) introduziu em seu estudo uma plataforma de jogo de equilíbrio *online* (Figuras 12 e 13) junto com *Wii Balance Board* (©Nintendo) para avaliar as alterações no equilíbrio em crianças com ECNEI. Tanto a plataforma de força quanto o jogo são personalizáveis. O jogo foi testado com 25 indivíduos que possuam ECNEI. Concluiu-se que após a intervenção houve melhorias nas reações de equilíbrio, entretanto tal mudança não foi significativa para a caminhada.

Figura 12 - Controles do nintendo wii



Fonte: ©Nintendo

Figura 13 - Jogos da plataforma de jogo online (Gable)



Fonte: Kachmar *et al* (2021)

A seguir o Quadro 1 contém as informações relacionadas aos Trabalhos Correlatos, contendo o(s) Autor(es), equipamento utilizado, principais achados do estudo, os sensores utilizados para a métrica dos dados e feedback do sistema, e pôr fim a origem de perturbação externa.

Quadro 1 - Resumo dos artigos encontrados

Autor e Ano	**Equipamentos**	**Principais Achados**	**Jogo: Sensor e *FeedBack***	**Origem das Oscilações**
PHILLIPS *et al*., (2018)	Wii Fit (27 jogos de equilíbrio desenvolvido para Nintendo Wii (©Nintendo) com Balance Board (Acessório do Nintendo Wii queutiliza o centro deequilíbrio do jogador para os jogos	O treinamento com jogos resulta em melhora no equilíbrio.	-Sensor:Wii Balance Board -*FeedBack*: Jogo (Visual, Auditiva)	Voluntário
LEE, LEE e SUNG (2018)	Realidade virtual (Ambiente virtual que faz o usuário se sentir imerso, RV), Dispositivo com Trampolim e controles de movimento do Wii	Melhoras nos membros superiores	-Sensor: Controle do Nintendo Wii -*FeedBack*: Jogo (Visual, Auditiva), Trampolim (Movimentos Laterais)	Voluntário e Dispositivo
NUIC *et al*., (2018)	Videogame customizado exibido em uma tela utilizando o sistema de câmera para captação de movimento da ©Microsoft o Kinect.	Aceitação dos jogos na reabilitação, melhora nos	-Sensor: Kinect (©Microsoft), -*FeedBack*: Jogo (Visual, Auditiva)	Voluntário

Quadro 1 - Resumo dos artigos encontrados

		distúrbios de marcha e de equilíbrio		
HELD *et al*., (2018)	Plataforma REWIRE, é uma plataforma de tele reabilitação, para reabilitação intensiva, com monitoramento remoto	Adesão a treinamento domiciliar e melhora na marcha dos pacientes com AVE.	-Sensor: Plataforma REWIRE, -*FeedBack*: Jogo (Visual, Auditiva)	Voluntário
MILLS *et al*., (2018)	"Realidade virtual (Ambiente virtual que faz o usuário se sentir imerso, (RV)), "Interactive Rehabilitation Exercise System" (IREX), um programa de intervenção com RV para treinamento de equilíbrio	Realidade imersiva juntamente com os treinamentos com jogos específicos beneficiam o controle dinâmico do equilíbrio.	-Sensor: Câmera de captação de Movimento -*FeedBack*: Jogo customizado em Realidade Aumentada (Visual, Auditiva)	Voluntário
HSIEH (2018)	Plataforma de melhoria Postural, com *videogame* customizado	Melhora das capacidades de caminhada e de equilíbrio.	- Sensor: Plataforma de melhoria Postural Superior -*FeedBack*: Jogo customizado (Visual)	Dispositivo
MIRANDA *et al.,* (2019)	Realidade virtual (RV), *videogame* (Nintendo Wii Fit) com uma plataforma de força Balance Master (Plataforma de força estática da ©Neurocom.	Duração do estudo insuficiente para conclusões especifica para a melhora de equilíbrio comjogos.	-Sensor: Plataforma de força *Balance Master* -*FeedBack*: Jogo (Visual, Auditiva)	Voluntário
BAKKER, DONATH e REIN (2020)	*Dividat Senso*	Interfaceamento de jogos tornam mais atraem as sessões de terapia e treinamento	-Sensor: Plataforma de força *Dividat Senso* -*FeedBack*: Jogo (Visual, Auditiva)	Voluntário
MADHAVANA e PRADHAN (2020)	"*Wii Balance Board* (WBB), interfaceado com um *software WeHab* customizado (*WeHab, University of Notre Dam*e)"	A utilização do interfaceamento com *WeHab* tem relevância e correlações com testes clínicos.	Sensor: *Wii Balance Board* -*FeedBack*: *WeHab* (Visual)	Voluntário
KACHMAR *et al*., (2021)	Nintendo Wii, *Wii Remote* portátil.	Melhorias nas reações de equilíbrio, entretanto não significativa para a funções de caminhada.	- Sensor: Controle do Nintendo Wii, -*FeedBack*: Jogo (Visual, Auditiva)	Voluntário
Presente estudo	Plataforma de Força e Jogo customizado para inclinação alternada.		-Sensor: Plataforma -*FeedBack*: Plataforma (Movimentos Biaxial), Jogo (Visual, Auditiva)	Voluntário e Dispositivo

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa será abordado sobre os equipamentos/*software* utilizados para o desenvolvimento do projeto e as etapas de desenvolvimentos.

3.1 FERRAMENTAS UTILIZADAS

3.1.1 Unity Hub

A interface de gerenciamento do "*Motor Gráfico Unity"* é a *Unity Hub*, que facilita as instalações do Editor da *Unity*, como também as criações e gerenciamento de projetos já existentes, além de fornecer Modelos Temas para criação de jogos.

Para a criação de um novo projeto é necessário escolher a opção "Novo" na *Hub* (Figura 14), quando selecionado uma nova janela será aberta (Figura 15) o que possibilita a edição de Dados Bases do seu projeto, como Temas, Nome do Projeto e Local de Armazenamento. Após a criação, o Editor da *Unity* será inicializado.

Figura 14 - "Novo" projeto.

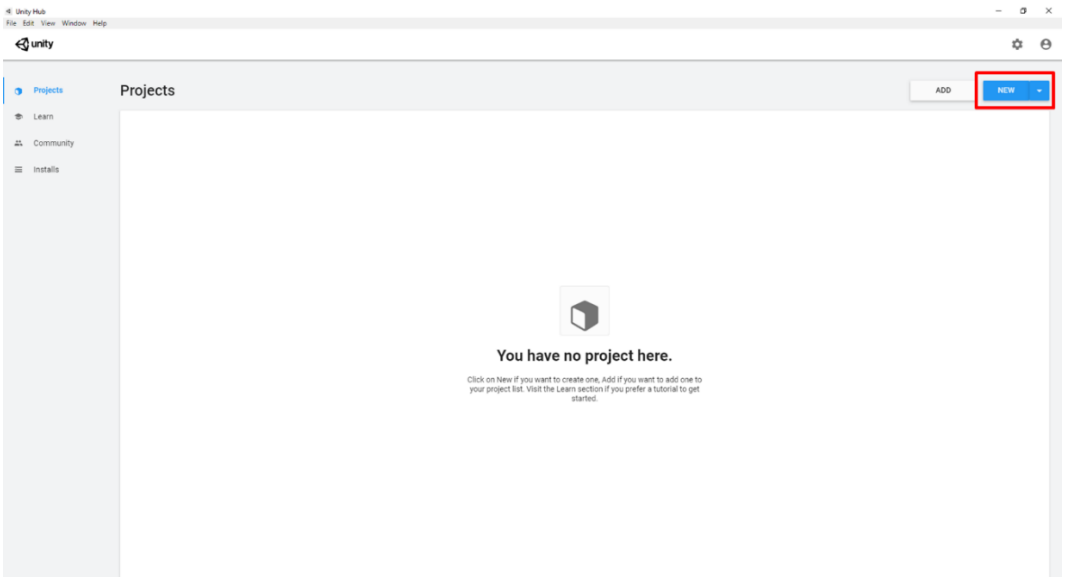
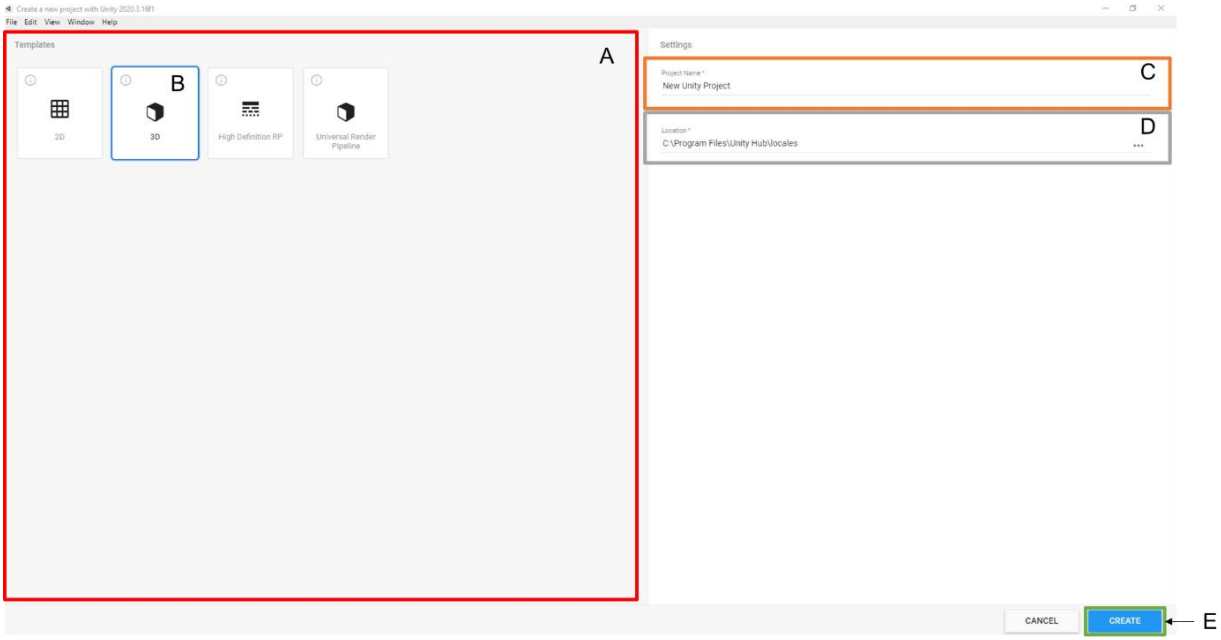


Figura 15 - Criação de um projeto. A) temas de referência, B) tema selecionado, C) nome para o projeto, D) local que será salvo os arquivos do projeto, E) confirmação da criação do projeto,

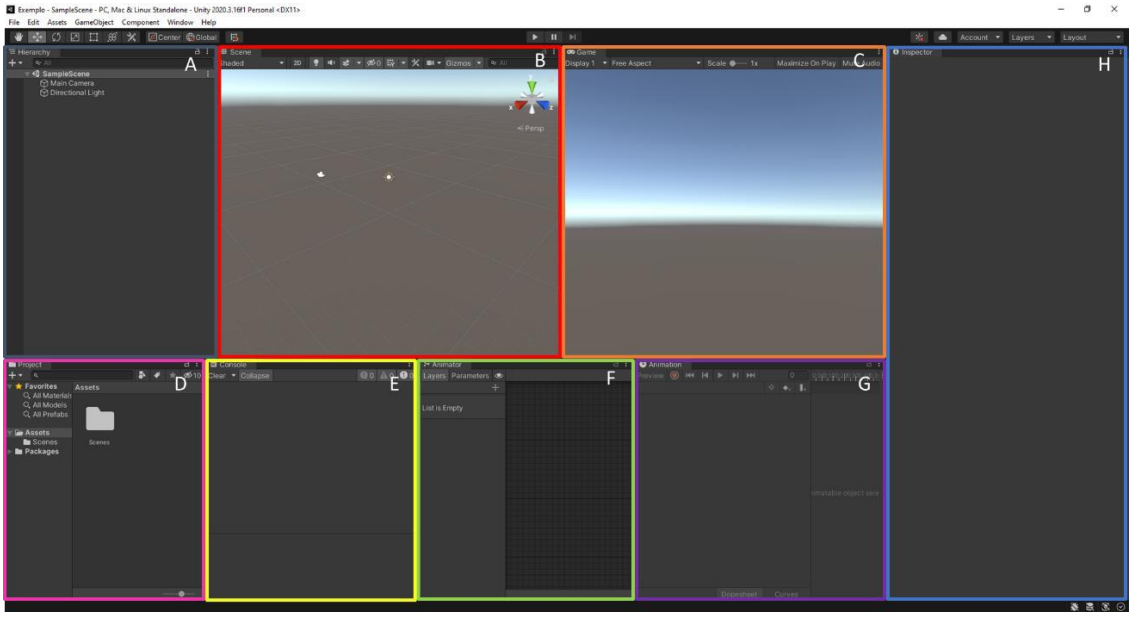


3.1.1.1 *Engine Unity*

A *Engine Unity* utiliza de Imagens (*Sprites*), e Roteiros (*Scripts),* junto com os objetos pré-fabricados (*Prefabs*), para a confecção de jogos.

Com a criação do projeto 3D o Editor da *Unity* 3D (Figura 16) é inicializado. Contendo de forma padrão, objetos de luz direcional e um objeto de câmera.

Figura 16 - Editor da *unity*. A) hierarquia, B) cena, C) jogo, D) projeto, E) console, F) animador, G) animação, H) inspetor



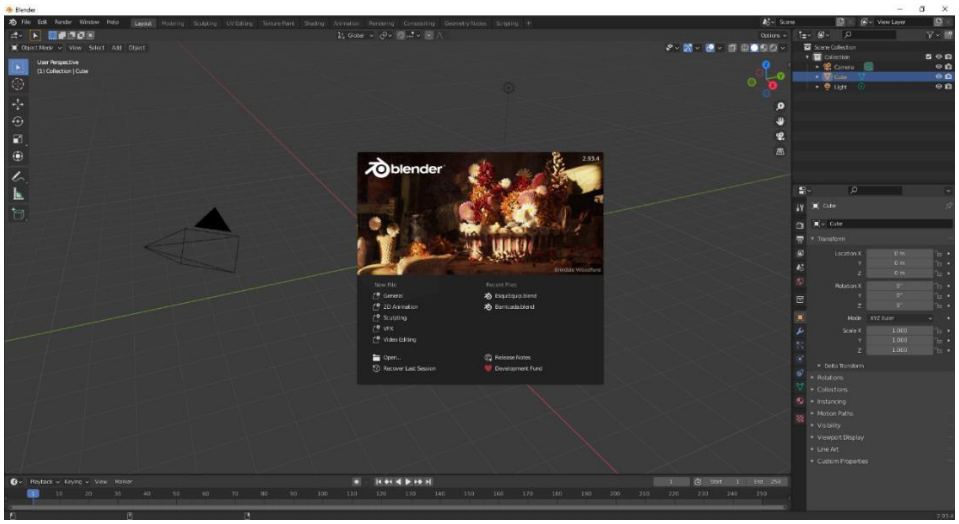
A *Engine Unity* é segmentada por diversas abas:

- *Scene* (Cena) é onde se trabalha com conteúdo no *Unity,* contendo todos os objetos que compõem um jogo ou aplicativo;
- *Hierarchy* (Hierarquia), onde são exibidos todos os objetos existentes em cena e possibilita a definição da parentalidade;
- *Project* (Projeto) exibe todos os arquivos relacionados ao projeto;
- O Console exibe erros, avisos e outras mensagens geradas pelo Editor;
- *Inspector* (Inspetor) é utilizado para visualizar e editar propriedades e configurações no Editor;
- *Game* (Jogo) ilustra o jogo elaborado*;*
- Em *Animation* (Animação)há a criação de clipes de animações diretamente dentro do *Unity*;
- *Animator* (Animador) define quais clipes de animação são utilizados de um objeto e controlam quando será realizado as transições entre eles.

3.1.2 Blender

O Blender é um software de criação de modelos 3D (Figura 17) e texturização, com formas de Exportações que facilitam a inclusão desses modelos para diversos outros aplicativos a utilizarem. Por esse motivo e pelo fácil manuseio da ferramenta, foi escolhido este software para as criações dos “Objetos de Cena” para o jogo.

Figura 17 - Blender



3.1.3 Plataforma de Força Bipodal com Rotação Biaxial

Neste estudo foi utilizada uma plataforma de força com rotação biaxial (Figura 18), juntamente com um ambiente virtual (jogo), como intermediário para a criação de situações que há de fazer o indivíduo se manter equilibrado, por meio de inclinações providas. A plataforma possui sensores que captam o centro de pressão (COP), que são convertidos nos controles de movimento do jogo.

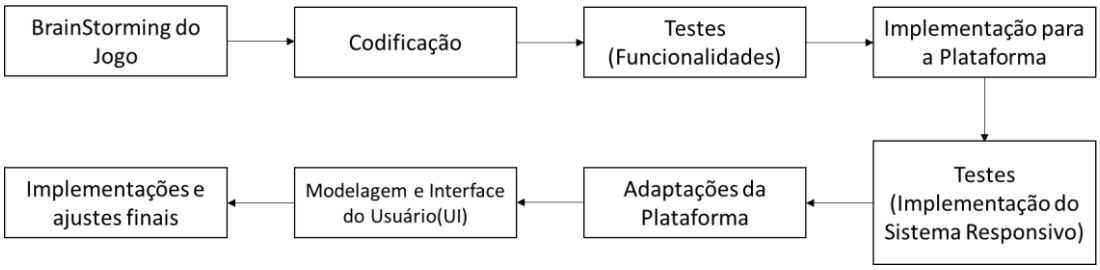
Figura 18 - Plataforma de força bipodal com rotação biaxial.



3.2 PLANO DE DESENVOLVIMENTO

Para a confecção do software foi desenvolvido um planejamento das etapas de desenvolvimento (Figura 19).

Figura 19 - Diagrama de blocos das etapas do desenvolvimento



Foi desenvolvido um jogo de equilíbrio utilizando o Motor Gráfico (Engine) *Unity* (©*Unity* Technologies), a Codificação do mesmo foi feita no software Visual Studio (©Microsoft), e os Modelos 3D utilizados no cenário foram feitos no Blender3D (©Blender Foundation). O jogo fará com que o usuário readéque seu Centro de Massa (COM), ou seja, deslocar o ponto que se concentra toda a massa do corpo de acordo com as mudanças providas pela plataforma de força, de modo a aprimorar o equilíbrio estático e dinâmico do indivíduo.

3.3 LEVANTAMENTOS DE REQUISITOS

3.3.1 Análise de Requisitos

Segundo Zave (1997), a engenharia de requisitos é a identificação dos objetivos a serem atingidas pelo sistema criado, assim como a funcionalidades e restrições.

3.3.1.1 Requisitos Funcionais

Os requisitos funcionais são os recursos específicos que devem ser fornecidos pelo sistema (SOMMERVILLE, 2008), elas podem variar de acordo com tipo de software, do usuário, e/ou do sistema que está sendo desenvolvido.

Os requisitos funcionais/não funcionais utilizados seguem no Quadro 2 e Quadro 3.

Quadro 2 - Requisitos funcionais

Requisitos Funcionais (RF#000)	Prioridade
Conectar com a Plataforma	Essencial
Descrição: Solicita acesso para os microcontroladores, para que haja comunicação entre o jogo e a plataforma.	

Detalhes da implementação prevista: Implementação de linhas de códigos, ao qual possui a finalidade de incluir os dados providos dos sensores e a liberação dos controles dos motores da Plataforma de Força.

Requisitos Funcionais (RF#001)	Prioridade
Conectar Óculos de Realidade Virtual	Essencial
Descrição: Habilita o uso do Óculos de Realidade Virtual, possibilitando o uso dos sensores do mesmo para movimento tridimensional com a cabeça.	
Detalhes da implementação prevista: Implementação de um objeto em jogo que possibilita a alteração da própria rotação para simular o movimento ocorrido com o Óculos.	

Requisitos Funcionais (RF#002)	Prioridade
Conectar Controle do Óculos de Realidade Virtual	Essencial
Descrição: Habilita o uso do Controle do Óculos de Realidade Virtual, possibilitando o uso dos *Joysticks* para realizar a movimentação do avatar.	
Detalhes da implementação prevista: Utilizando um mapeamento das funções do controle disponibilizado pela desenvolvedora do hardware para desenvolvimentos de softwares.	
Requisitos Funcionais (RF#003)	Prioridade
Movimento de Personagem para a Esquerda	Essencial
Descrição: Ao acionar o movimento para a esquerda faz com que o personagem se mova para o respectivo lado.	
Detalhes da implementação prevista: Ao acionar um comando correspondente ao lado esquerdo, adiciona velocidade ao lado correspondente de forma gradual. Em caso do uso	

da plataforma de força, utiliza-se os sensores correspondentes de cada chapa de metal para a movimentação.

Requisitos Funcionais (RF#004)	Prioridade
Movimento de Personagem para a Direita	Essencial
Descrição: Ao acionar o movimento para a direita faz com que o personagem se mova para o respectivo lado.	
Detalhes da implementação prevista: Ao acionar um comando correspondendo ao lado direito, adiciona velocidade ao lado correspondente de forma gradual. Em caso do uso da plataforma de força, utiliza-se os sensores correspondentes de cada chapa de metal para a movimentação.	

Requisitos Funcionais (RF#005)	Prioridade
Fim de Jogo	Essencial
Descrição: Possibilita o salvamento dos dados obtidos da partida e volta para a Tela Inicial.	
Detalhes da implementação prevista: Ao passar pelo fim da fase, desabilita o movimento do jogador, um Botão interativo para o jogador que levará a tela de início, e uma tela ao avaliador que possibilitará o salvamento dos dados em um arquivo de texto (.txt) customizável contendo o tempo decorrido, a quantidade de vezes que colidiu com algo, o nome de quem jogou e a velocidade máxima atingida no percurso. Contendo também uma área de comentários caso desejado.	

Requisitos Funcionais (RF#006)	Prioridade
Surgimento da Pista	Essencial
Descrição: Cria uma pista com objetos pré-prontos, que são distribuídos em uma linha imaginaria da fase com inclinações e obstáculos aleatórios.	
Detalhes da implementação prevista: Armazenando em uma variável os objetos pré-fabricados, utiliza-se uma função que escolhe de forma aleatória objeto a ser colocado na pista, após a seleção uma angulação é determinada para a seção da pista até que outra seja solicitada.	

Requisitos Funcionais (RF#007)	Prioridade
Colisor de Início	Essencial
Descrição: Inicia o Cronometro e habilita os libera os movimentos laterais do personagem.	
Detalhes da implementação prevista: Um colisor inicial, que habilita os movimentos laterais do personagem e o inicia o cronometro.	

Requisitos Funcionais (RF#008)	Prioridade
Cronometro	Essencial

Descrição: Conta em tempo real, do início até o fim da partida
Detalhes da implementação prevista: Implementação de linhas de códigos, ao qual possui a finalidade de armazenar uma variável com um número flutuante que aumenta de forma constante e em tempo real.

Requisitos Funcionais (RF#009)	Prioridade
Check- Points	Essencial
Descrição: Locais que alteram a velocidade do avatar e a inclinação da pista.	
Detalhes da implementação prevista: Na criação do percurso é gerada randomicamente em um intervalo selecionado, a geração de pontos que diversifica a pista e alterando a inclinação e velocidade daquele trajeto. Em caso do uso da plataforma de força, fará com que haja uma comunicação entre o jogo e a plataforma que irá promover uma inclinação (declive) correspondente.	

Requisitos Funcionais (RF#010)	Prioridade
Colisões de Obstáculos	Essencial
Descrição: Diminuir a velocidade do jogador.	
Detalhes da implementação prevista: Encostar em algum obstáculo, a variável de velocidade do avatar é reduzida em um valor fixo para os obstáculos e o objeto colidido é destruído no processo.	

Requisitos Funcionais (RF#011)	Prioridade
Cálculo de Diminuição de Velocidade de Movimento do Personagem para Atrás	Essencial
Descrição: Redução da velocidade do Personagem gradativo. A redução máxima é a metade da velocidade da inclinação.	
Detalhes da implementação prevista: Criação de uma função que faz com que a variável de velocidade do avatar diminua conforme o movimento atual seja o Posterior. É realizado ao subtrair um valor fixo da variável de velocidade do avatar quando o movimento é para atrás.	

Requisitos Funcionais (RF#012)	Prioridade
Cálculo de Movimento do Personagem para a Frente	Essencial
Descrição: Cálculo que pega a variação das Acelerações, junto com a Velocidade, Gravidade e a direção acionada por um dos controladores.	
Detalhes da implementação prevista: Ao início do percurso a velocidade do avatar é calculada. Utiliza-se a aceleração exercida pela inclinação, com a velocidade base escolhida, e a interpretação de tempo real do software.	

Requisitos Funcionais (RF#013)	Prioridade
Colisor de Fim de Jogo	Essencial

Descrição: Local do jogo onde a velocidade do jogador é zerada, o cronometro é interrompido, e habilita a tela de Fim de Jogo.
Detalhes da implementação prevista: Quando cumprido o requisito, ocorrerá a diminuição da velocidade do personagem a 0 (zero), a contagem do tempo do jogo cessará, e a tela de fim de jogo aparece.

Requisitos Funcionais (RF#014)	Prioridade
Iniciar o Jogo	Condicional
Descrição: Leva o jogador ao ponto de partida do jogo.	
Detalhes da implementação prevista: Botão que levará até o ponto de partida.	

Requisitos Funcionais (RF#015)	Prioridade
Impulso de Personagem para a Frente	Condicional
Descrição: Ao acionar esta função, impulsiona a velocidade do avatar para que ocorra o começo da partida.	
Detalhes da implementação prevista: Ao utilizar o *Joystick* para frente, a tecla “W”, ou os dados providos pelos sensores Frontais da plataforma no começo da partida, aciona comandos de movimentos para frente.	

Requisitos Funcionais (RF#016)	Prioridade
Cálculo de Aumento de Velocidade de Movimento do Personagem para a Frente	Condicional
Descrição: Aumento gradativo da velocidade do avatar em relação a inclinação atual. A velocidade máxima, é a soma da metade da velocidade da inclinação sem a alteração.	
Detalhes da implementação prevista: Ao utilizar o *Joystick* para frente, a tecla “W”, ou os dados providos pelos sensores Frontais da plataforma após o começo da partida, adiciona comandos de movimentos graduais ao objeto do jogo.	

Requisitos Funcionais (RF#017)	Prioridade
Movimento de Personagem para Atrás	Condicional
Descrição: Ao acionar esta função, ocorre a diminuição gradativa da velocidade do avatar na descida que varia dependendo da inclinação atual da pista.	
Detalhes da implementação prevista: Ao utilizar o *Joystick* para trás, a tecla “S”, ou os dados providos pelos sensores Posterior da plataforma, adiciona comandos de redução de velocidade graduais ao objeto do jogo.	

Requisitos Funcionais (RF#018)	Prioridade

Cálculo de Diminuição de Velocidade de Movimento do Personagem para a Frente	Condicional
Descrição: Redução gradativo da velocidade de descida em relação a inclinação atual. A velocidade mínima é a da própria velocidade da inclinação.	
Detalhes da implementação prevista: Subtrair da variável de velocidade do avatar um valor fixo até a velocidade chegar na mínima possível pela inclinação.	

Requisitos Funcionais (RF#019)	Prioridade
Cálculo de Aumento de Velocidade de Movimento do Personagem para a Esquerda	Condicional
Descrição: Aumento gradativo da velocidade atual para a esquerda. A velocidade máxima atingida é equivalente a velocidade para a frente.	
Detalhes da implementação prevista: Ao utilizar o *Joystick* para a esquerda, a tecla “A”, ou os dados providos pelos sensores localizados na parte esquerda das chapas de metal da plataforma, adiciona gradativamente na variável de velocidade lateral para a esquerda do avatar, um valor fixo até esta variável chegar na máxima possível pela inclinação.	

Requisitos Funcionais (RF#020)	Prioridade
Cálculo de Diminuição de Velocidade de Movimento do Personagem para a Esquerda	Condicional
Descrição: Redução gradativo das velocidades laterais. A velocidade mínima é zero.	
Métrica de Qualidade: Ao não utilizar o *Joystick* para a esquerda, a tecla “A”, ou os dados providos pelos sensores localizados na parte esquerda das chapas de metal da plataforma, diminui gradativamente na variável de velocidade lateral para a esquerda do avatar, um valor fixo até a chegar a 0(zero).	

Requisitos Funcionais (RF#021)	Prioridade
Cálculo de Aumento de Velocidade de Movimento do Personagem para a Direita	Condicional
Descrição: Aumento gradativo da velocidade atual para a direita. A velocidade máxima atingida é equivalente a velocidade para a frente.	
Detalhes da implementação prevista: Ao utilizar o *Joystick* para a direita, a tecla “D”, ou os dados providos pelos sensores localizados na parte direita das chapas de metal da plataforma, adiciona gradativamente na variável de velocidade lateral para a direita do avatar, um valor fixo até esta variável chegar na máxima possível pela inclinação.	

Requisitos Funcionais (RF#022)	Prioridade
Cálculo de Diminuição de Velocidade de Movimento do Personagem para a Direita	Condicional
Descrição: Redução gradativo das velocidades laterais. A velocidade mínima é zero.	

Métrica de Qualidade: Ao não utilizar o *Joystick* para a esquerda, a tecla “D”, ou os dados providos pelos sensores localizados na parte direita das chapas de metal da plataforma, diminui gradativamente na variável de velocidade lateral para a esquerda do avatar, um valor fixo até a chegar a 0(zero).

Requisitos Funcionais (RF#023)	Prioridade
Colocar dados da partida	Opcional
Descrição: Guarda informações do usuário e da partida	
Detalhes da implementação prevista: Criar uma interface para dados pessoais, que ao final da partida salva em um arquivo com a quantidade acometida de batidas, o tempo e velocidade máxima.	

Requisitos Funcionais (RF#024)	Prioridade
Velocímetro	Opcional
Descrição: Valor da velocidade atual do personagem e mostra para o jogador com o valor em números inteiros	
Detalhes da implementação prevista: Adicionando a interface de usuário uma finalidade de ilustrar o valor da variável de velocidade com um número inteiro que é atualizada ao ocorrer uma alteração do valor.	

Requisitos Funcionais (RF#025)	Prioridade
Cálculo de Aumento de Velocidade de Movimento do Personagem para a Frente	Condicional
Descrição: Aumento gradativo da velocidade do avatar em relação a inclinação atual. A velocidade máxima, é a soma da metade da velocidade da inclinação sem a alteração.	
Detalhes da implementação prevista: Colocar massa em cima dos sensores anteriores da plataforma e a velocidade de movimento do personagem aumenta gradativamente.	

3.3.1.2 Requisitos Não Funcionais

Segundo Sommerville (2008), requisitos não funcionais específica o comportamento de algum software e que de acordo com as necessidades dos usuários são criadas (Quadro 3).

Quadro 3 - Requisitos não funcionais

Requisitos Não Funcional (RNF#000)	Prioridade
Aplicação do software	Essencial
Descrição: O jogo terá suporte para Sistema Operacional Windows.	
Métrica de Qualidade: Funcionamento em qualquer computador com sistema operacional Windows.	

Requisitos Não Funcional (RNF#001)	Prioridade
Equipamento de Segurança	Essencial
Descrição: Para a utilização do sistema é instruído a utilização da cinta de segurança e das barras laterais para maior segurança durante o uso	
Métrica de Qualidade: Foi utilizado pesos para a métrica base de peso suportado.	

Requisitos Não Funcional (RNF#002)	Prioridade
Final da partida gerar um relatório	Condicional
Descrição: Todo final da partida será gerado um relatório com os dados a seguir: tempo decorrido, a quantidade de vezes que colidiu com algo, o nome de quem jogou e a velocidade máxima atingida no percurso.	
Métrica de Qualidade: Criação do arquivo com as informações citadas.	

Requisitos Não Funcional (RNF#003)	Prioridade
Utilização de Oculos de realidade virtual	Opcional
Descrição: Para a utilização deste sistema não é necessário o uso de óculos de realidade virtual, mas é recomendado caso o usuário queira uma melhor imersão no jogo.	
Métrica de Qualidade: Foi comparado o uso do sistema com e sem o óculos de realidade virtual.	

3.4 DESENVOLVIMENTO DO JOGO

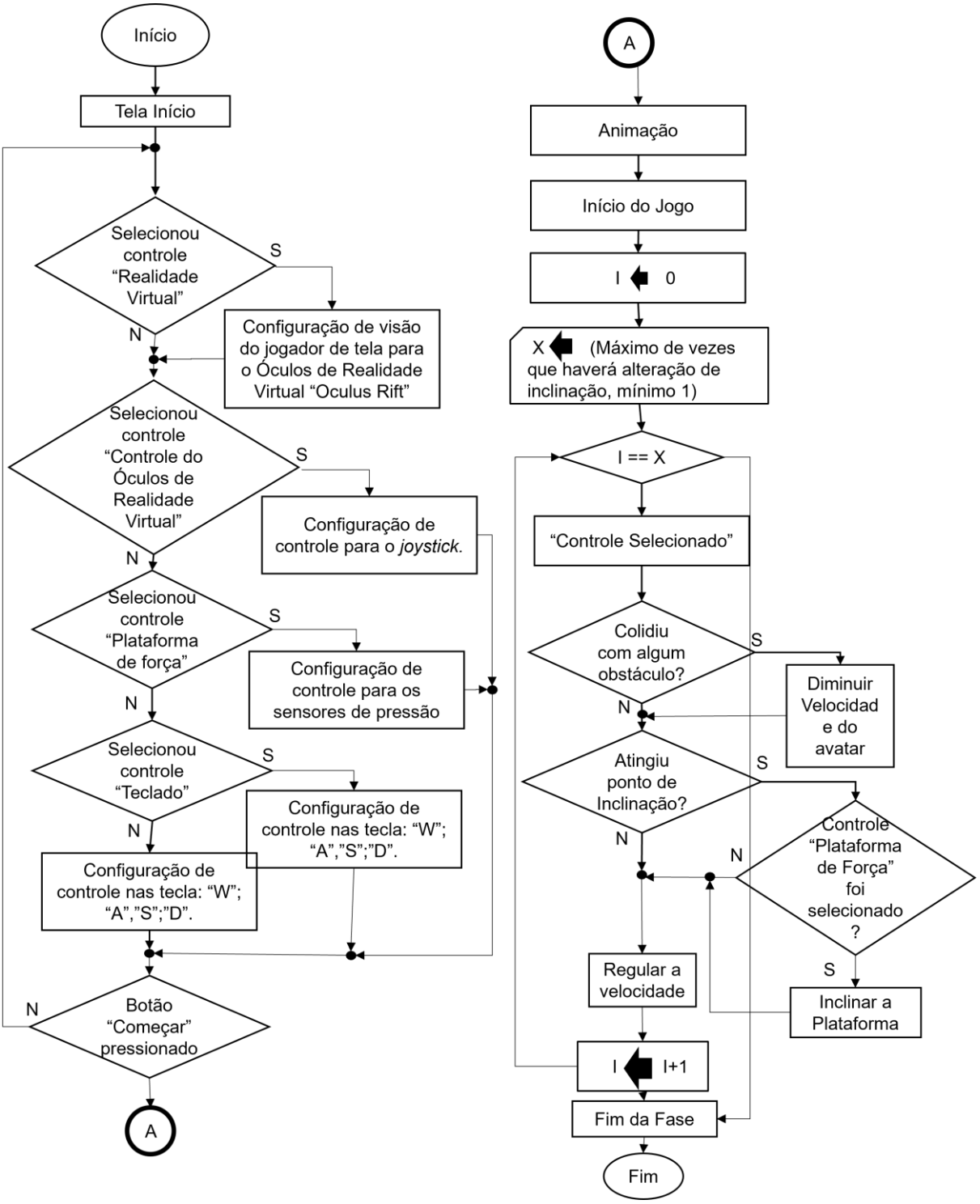
3.4.1 DIAGRAMAÇÃO

Nesta etapa será abordado sobre as funcionalidades e as interações que o usuário poderá ter durante o jogo.

Na figura 20 é ilustrado o comportamento do software, exemplificando o funcionamento de suas funções realizados ao decorrer do jogo. Em complemento a funcionalidade, os controles foram exemplificados em outra diagramação para a melhor compreensão do leitor.

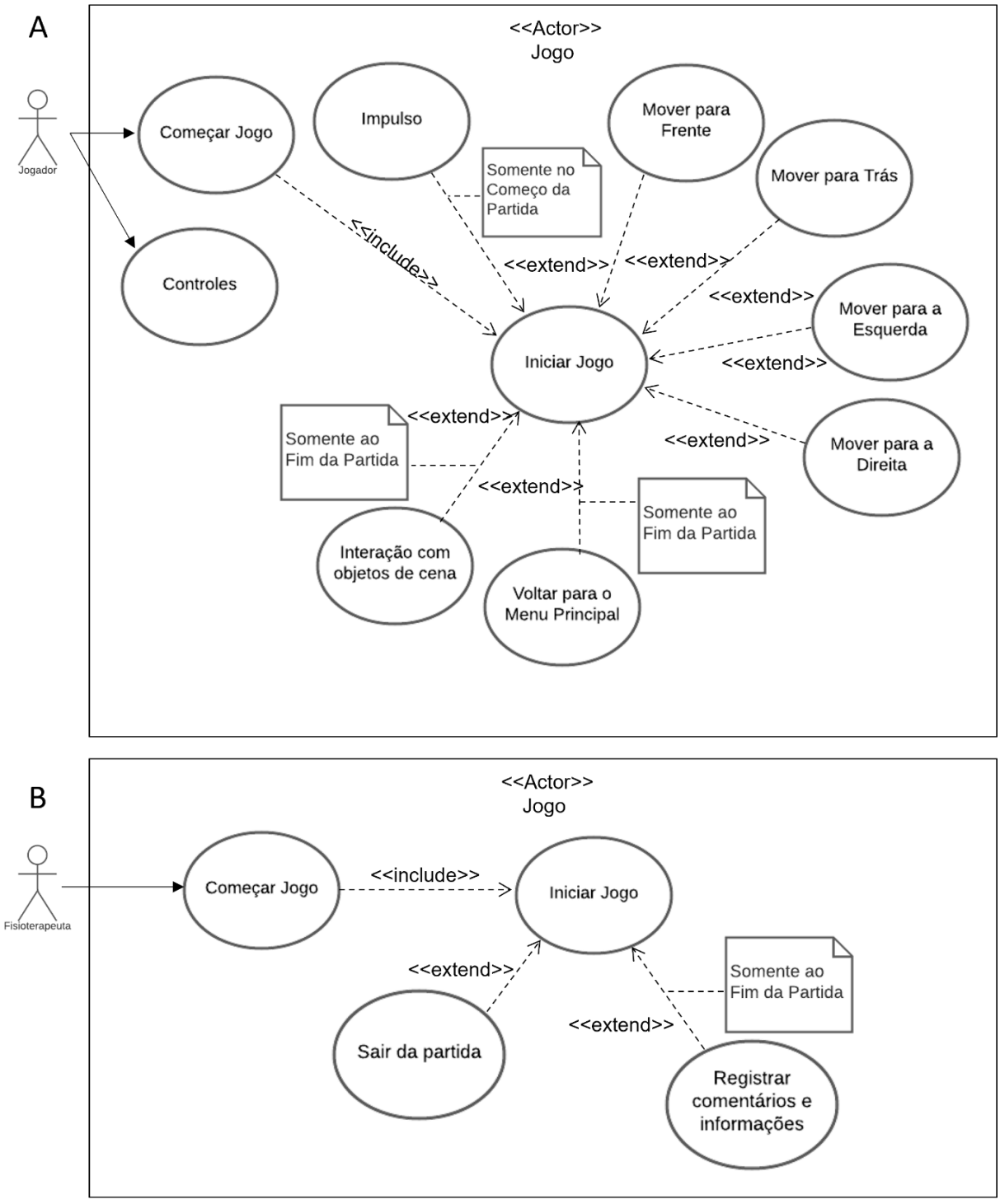
Ao executar o jogo, o sistema apresentará a tela inicial, conectando a plataforma de força e habilitando o botão de início do jogo, durante este processo a fase é criada, com as especificações configuradas. Após a conexão o jogador é direcionado ao avatar, que poderá iniciar a partida.

Figura 20 - Funcionamento do jogo



Conforme o diagrama a seguir (Figura 21A), o usuário (Jogador) na interface inicial terá acesso ao botão de início que levará o jogador a fase criada e um botão para conexão com a plataforma de força. Para o aplicador (Figura 21B) do teste um campo de inserção de nome no qual poderá ser armazenado o nome do jogador será apresentado sem interferir na visão do avatar.

Figura 21 - Diagrama de Caso de uso. A) diagrama para o jogador. B) diagrama para o fisioterapeuta.

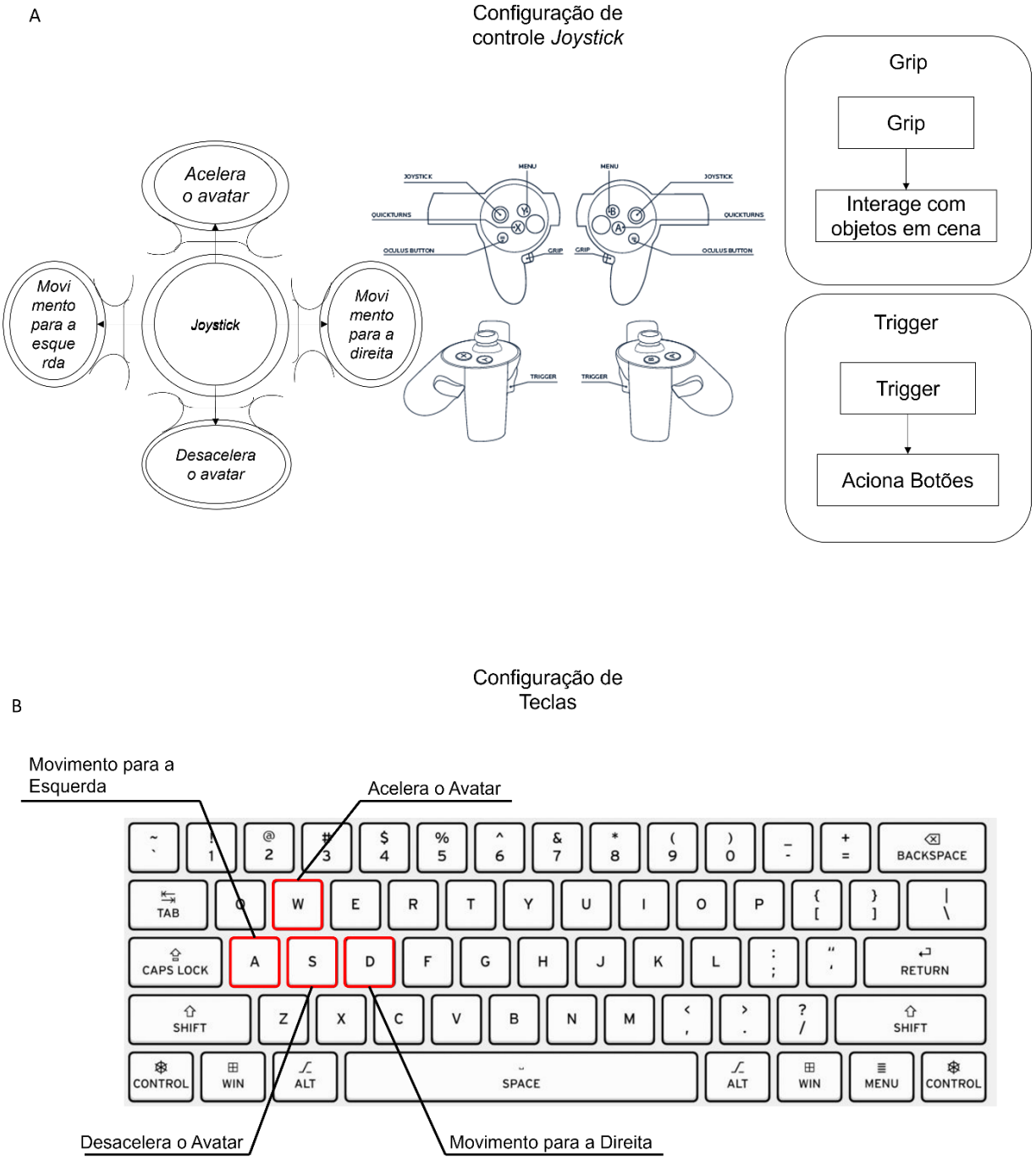


3.4.1.1 Diagramação dos Controles

Para começar a partida o jogador terá que acionar o botão de impulso, ou seja, acionar a movimentação para frente para faça com que o avatar do jogador seja impulsionado, ocasionando o início do jogo.

Em meio ao jogo, o jogador pode deslocar seu centro de pressão para quaisquer direção caso o uso da Plataforma de força (Figura 23) , utilizar os *Joysticks* do controle (Figura 22A) , ou pressionando as teclas “W”,”A”,”S”,”D” (Figura 22B), para movimentar o avatar em jogo, ocasionando um movimento corresponden te no jogo.

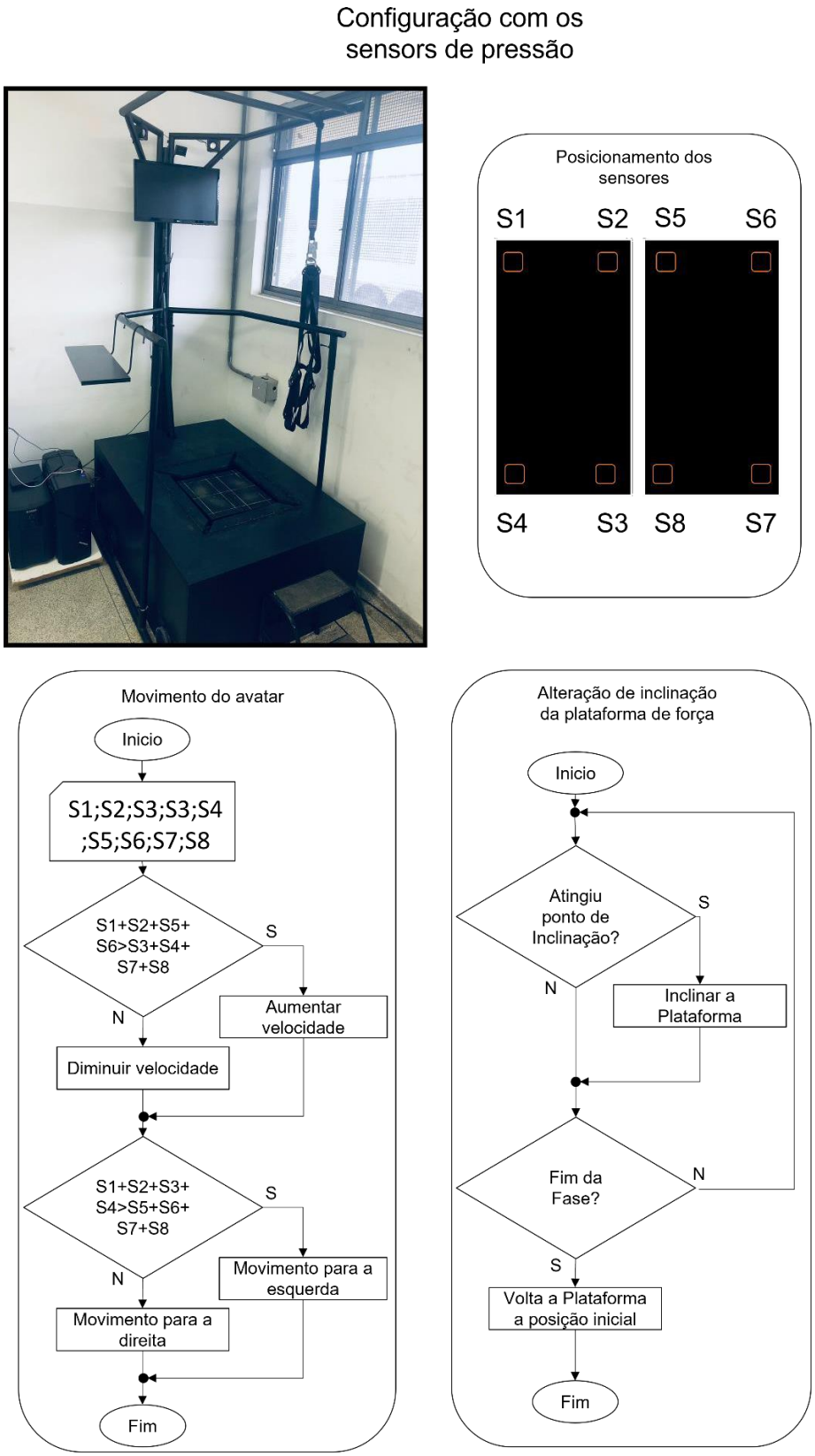
Figura 22 - Controles. A) configuração de controle com *Joystick*. B) configuração com teclado



Ao passar por *check-points* será ajustado a velocidade do avatar para corresponder a inclinação atual da pista. Se a plataforma de força for o controle

selecionado, ela irá alterar a inclinação para corresponder simbolicamente ao que ocorre na pista.

Figura 23 - Configuração de controle com os sensores de pressão

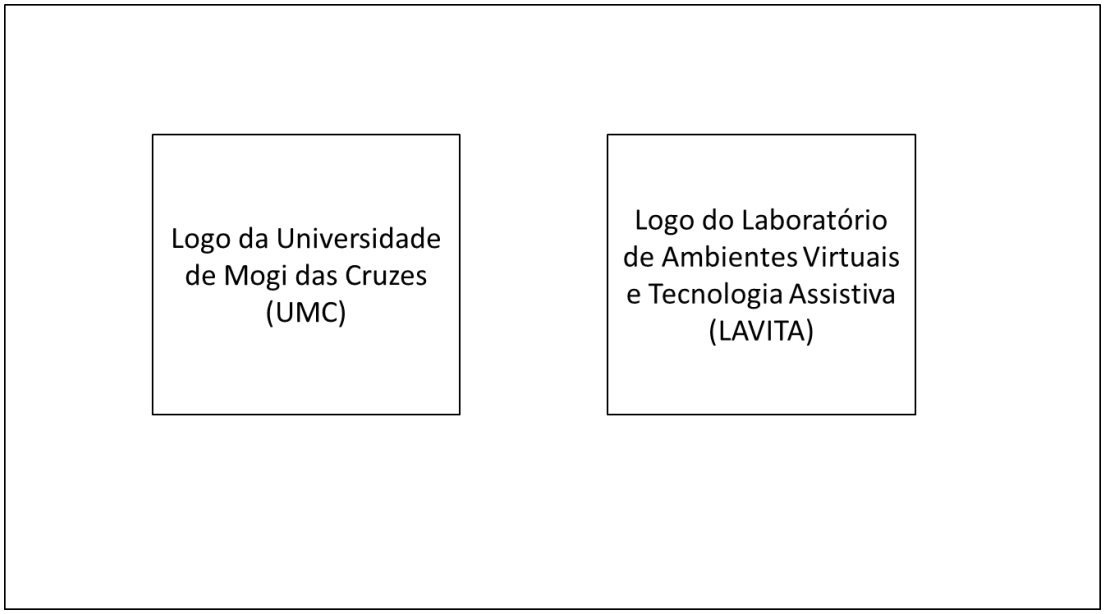


Ao chegar no final do percurso, interface de finalização para o fisioterapeuta e jogador será habilitado para que possam reiniciar o jogo e armazenar os dados (velocidade máxima, quantidade de colisões ocorridas, nome e tempo), além de comentários que foram observados durante a partida). Ao utilizar a plataforma de força, ela voltará a inclinação inicial de 0º (Zero graus) além da interface de finalização.

3.4.2 Apresentação do Jogo

O programa se inicializa com a apresentação das logo da Universidade de Mogi das Cruzes, juntamente com o logo do Laboratório de Ambientes Virtuais e Tecnologia Assistiva (LAVITA) (Figura 24). Após a introdução, o usuário é redirecionado à tela de Início, onde poderá iniciar o jogo.

Figura 24 - Prototipagem da inicialização do jogo



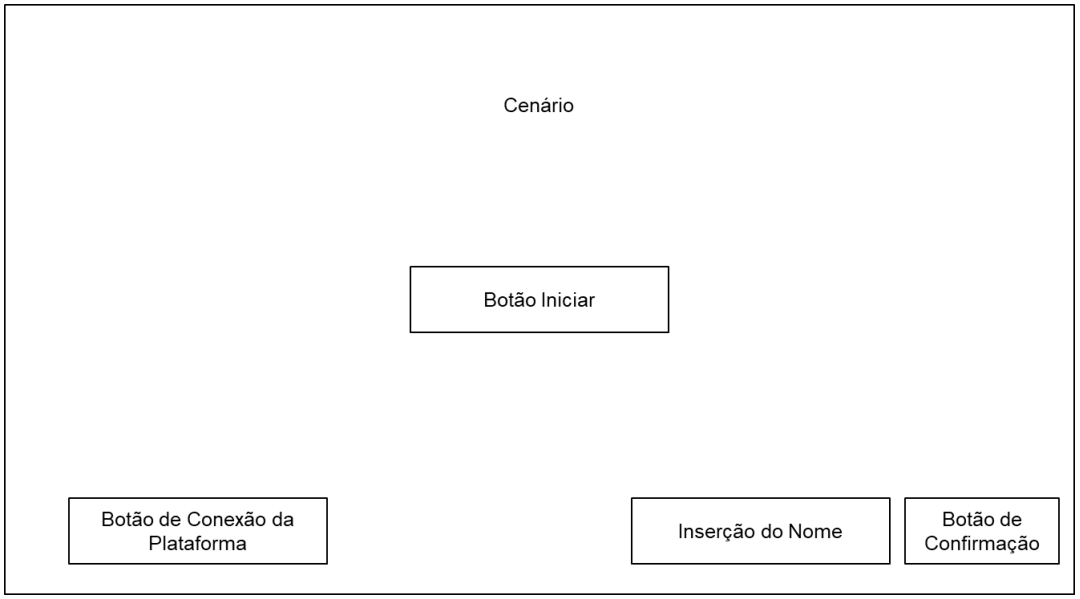
O jogo desenvolvido para o presente estudo é um *Ski Racer, ou seja,* descer uma montanha de neve com um par de esqui, contendo vários obstáculos, que se acertado ocasiona aumento no tempo de conclusão do jogo. Para controlar o avatar é necessário que o voluntário desloque seu centro de pressão (COP) para direita ou para a esquerda gerando assim a movimentação médio-lateral no avatar, isto ocorre caso haja o uso da plataforma de força. Quanto mais rápido ele chegar ao objetivo final do jogo melhor será sua performance.

3.4.3 Etapas do Jogo

3.4.3.1 Tela Inicial

O jogo possui diversos processamentos que no decorrer da inicialização é executado para que todas as funcionalidades estejam prontas para proporcionar uma melhor experiencia para o jogador. Na Tela de início (Figura 25), foi planejado haver botões que quando acionados terão suas funções ativas, uma delas conectará a plataforma de força que seja utilizada, se conectado, o sistema internamente verificará se a conexão ocorreu. Após confirmada a verificação, o botão de “Começo” é habilitado, possibilitando o início do jogo, o outro é atrelado a uma caixa de texto, que possui como função a escrita do nome do jogador, que ao ser acionado salva em uma variável o nome escrito, juntamente com o tempo decorrido e a quantidade de Colisões ao fim da partida. Apertando o botão de “Começo”, no jogo o cenário, e o ponto de partida da corrida. Após esta ação ocorrerá a mudança de visão da câmera para o do avatar.

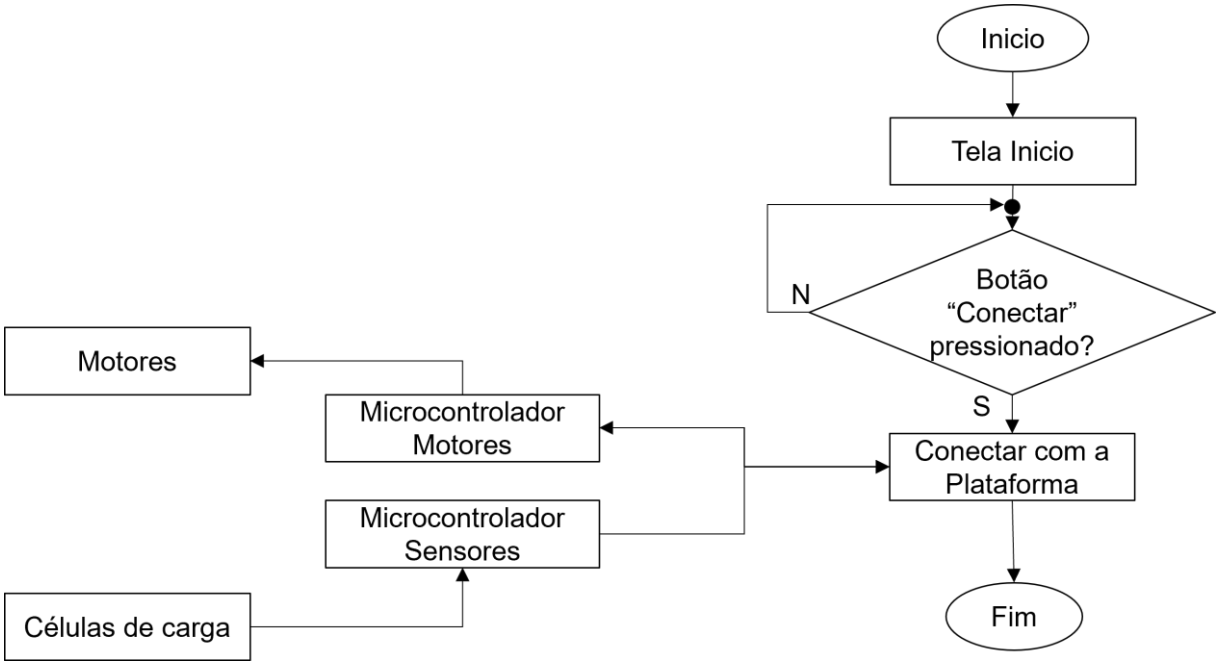
Figura 25 - Protótipo da tela inicial



3.4.3.2 Conexão microcontrolador

A requisição dos Microcontroladores é feita na tela inicial, quando solicitado, a porta serial utilizada inicializa a comunicação serial dos microcontroladores que assim, por sua vez permite a coleta dos dados e as interações com os atuadores (Figura 26).

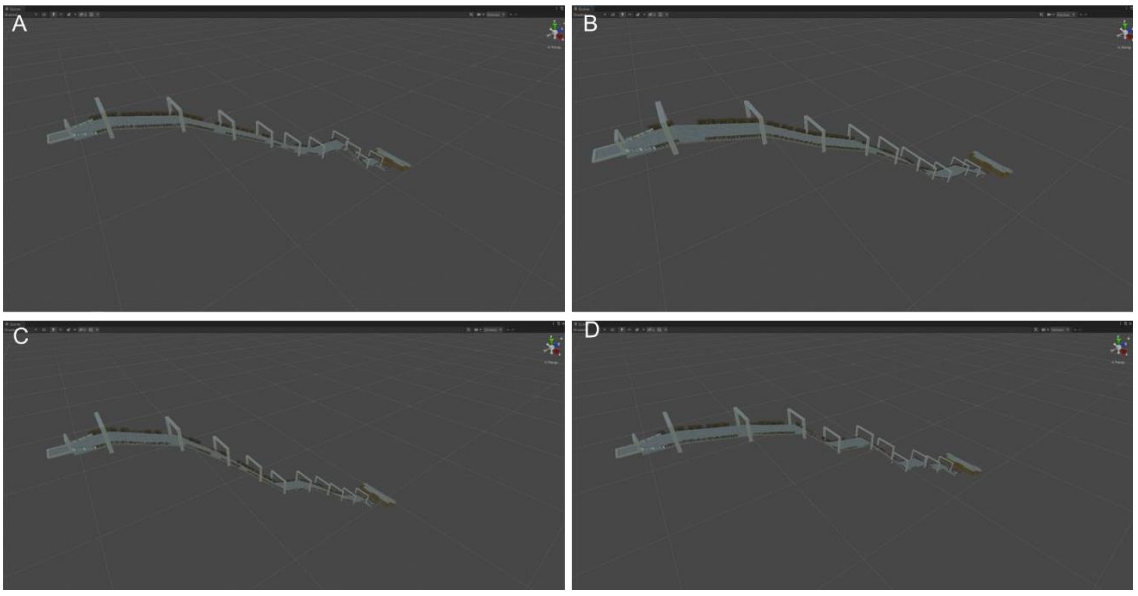
Figura 26 - Conexão dos microcontroladores ao jogo



3.4.3.3 Jogo

No início é criado a pista que será realizado o jogo (Figura 27) e possibilita o comando de "Impulso" que o jogador gera para se locomover inicialmente.

Figura 27 - Funcionalidade 1 – gerações de mapa. A) mapa aleatório 1, B) mapa aleatório, C) mapa aleatório 3, D) mapa aleatório 4

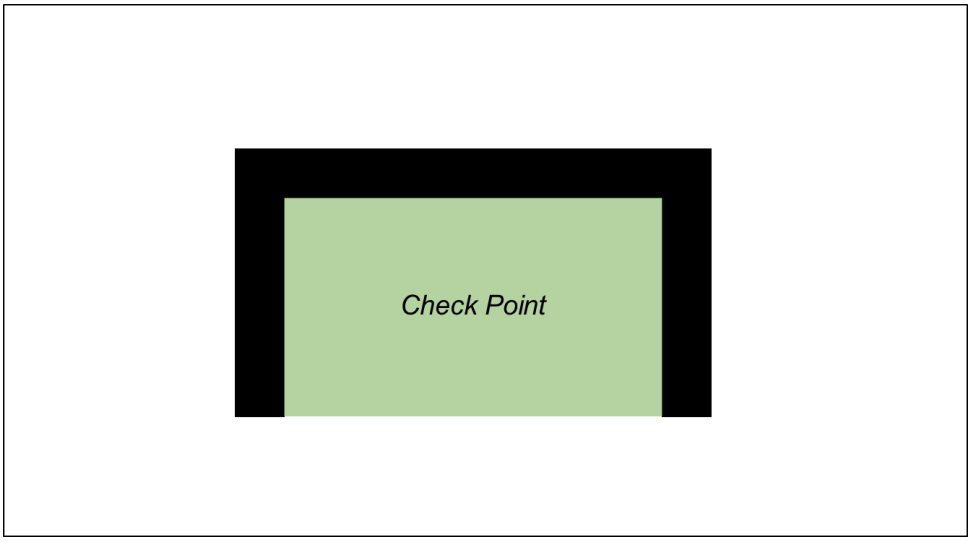


Após o impulso inicial os comandos de movimentos laterais são liberados e a velocidade do jogador é baseada na inclinação que a pista apresenta no momento, assim possibilitando a variação de velocidade de acordo com a inclinação atual da

pista. O comando de movimento do personagem como o aumento ou redução da velocidade e movimentação latero-lateral (direita e esquerda) é realizado através da pressão exercida sobre os sensores responsáveis pela sua localidade, no caso do uso da plataforma de força, ou deslocar para a respectiva posição para a realização do movimento desejado.

Os *Check Points* (Figura 28), simboliza que a pista terá uma mudança de ângulo, desta forma ocorrerá uma mudança de inclinação da plataforma para o ângulo que corresponde simbolicamente ao que será enfrentado no jogo. Caso a inclinação seja igual a anterior ou não estiver utilizando a plataforma de força, nada ocorrerá.

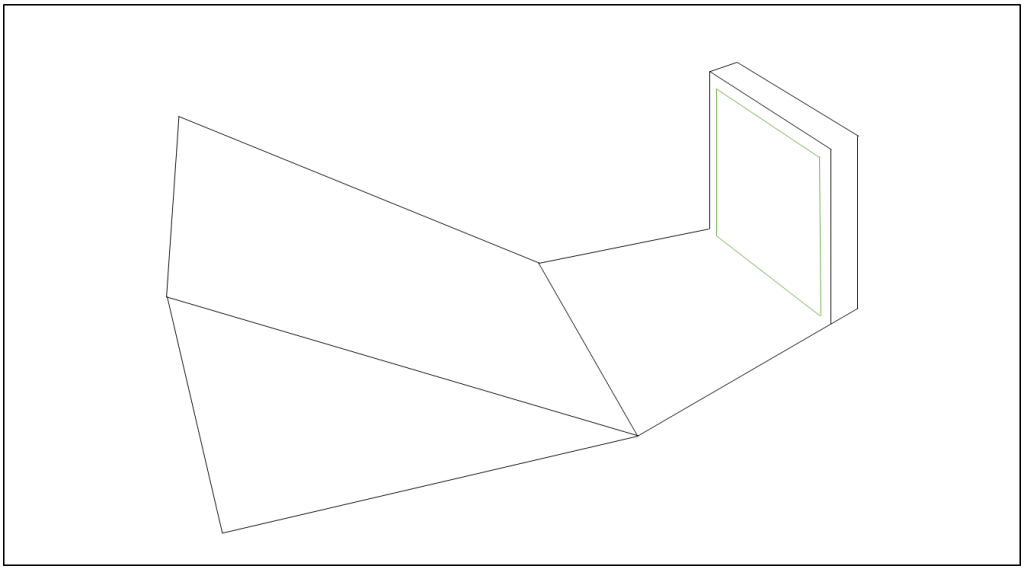
Figura 28 - Funcionalidade 2 – protótipo do *check point*



No decorrer da partida, obstáculos irão aparecer no meio da pista, fazendo com que o jogador mova o avatar para que ocorra o desvio deste obstáculo. Caso a pessoa ocasione uma ação de colidir com o objeto, o mesmo gera uma diminuição da velocidade (!=<0), que atrapalhará o andamento para a conclusão no menor tempo possível.

Com o passar das pistas, uma última parte se encontra em uma inclinação neutra de 0° (Zero graus) (Figura 29), este ponto representa o fim da partida, ao qual se alcançada, o jogador tem sua velocidade igual a zero, e a plataforma será designada a voltar a seu ponto inicial de 0° .

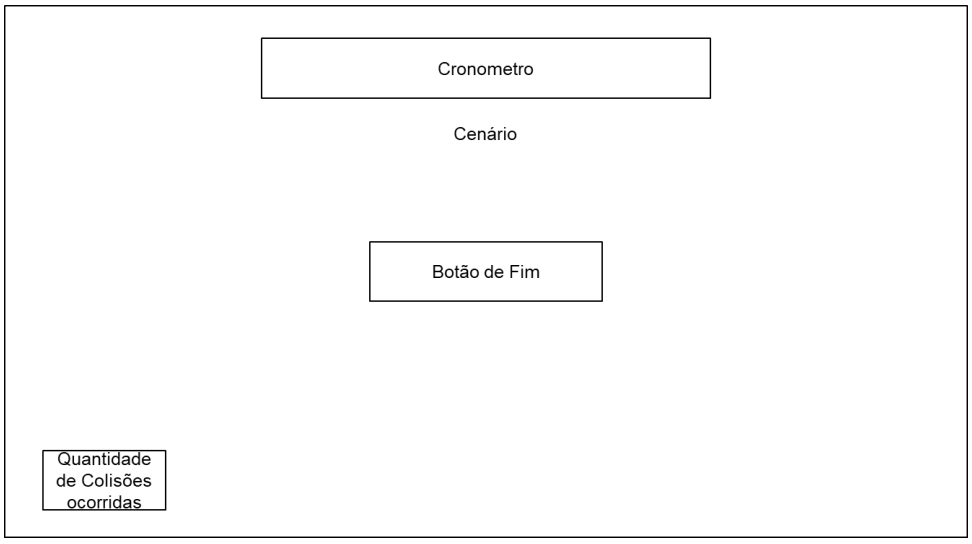
Figura 29 - Prototipagem de fim da pista de fim de jogo



3.4.3.4 Reinício do Jogo

Ao final do trajeto, o jogador finalizará a partida onde os *non-player characters* (NPCs) junto com o usuário celebrarão a chegada do jogador, pôr fim a tela final é apresentada (Figura 30), nela há o tempo total de partida e a quantidade de vezes que foi cometido algum tipo de colisões em obstáculos.

Figura 30 - Prototipagem da interface final

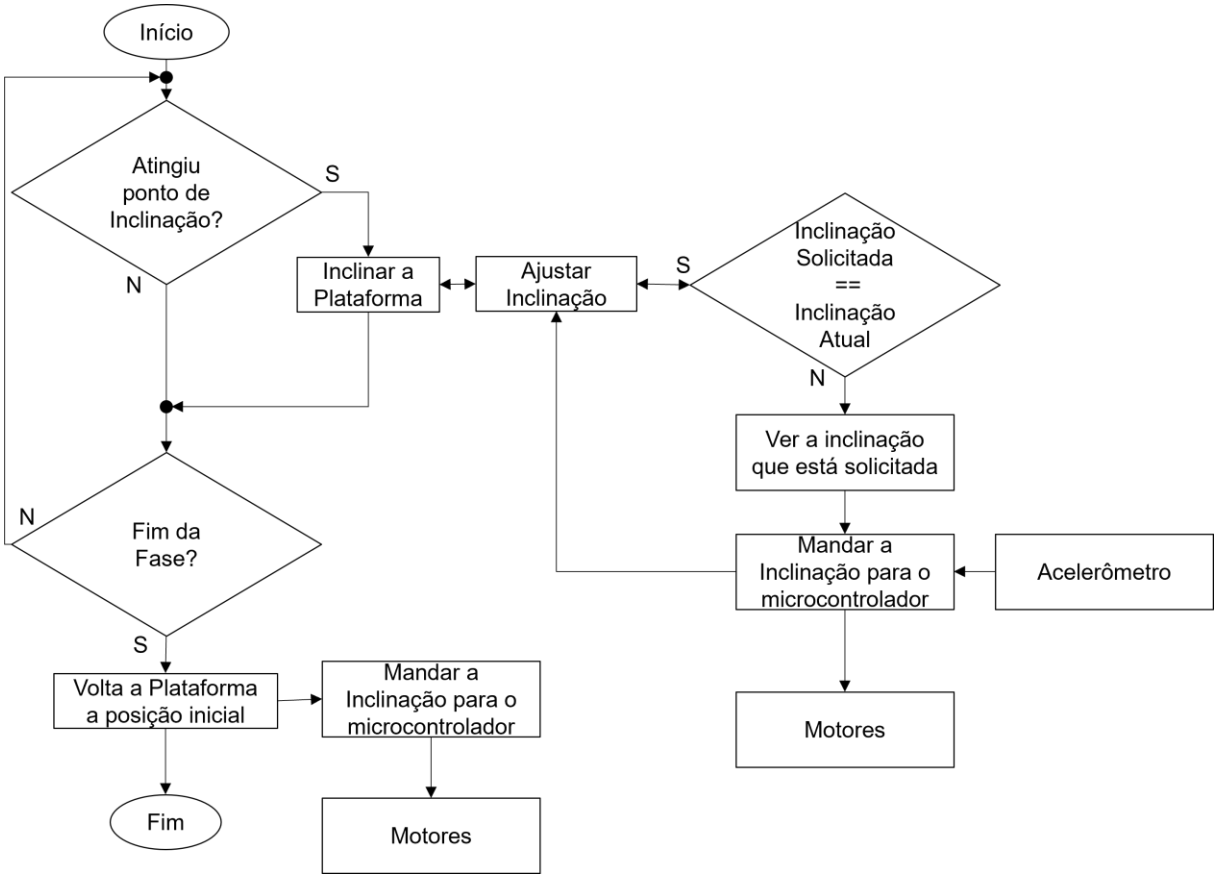


3.4.4 Implementação do Sistema Responsivo

3.4.4.1 Motores da Plataforma de Força

Os motores da plataforma de força, possuem como principal função a de controlar a movimentação dos eixos (Horizontal e Vertical). Quando requisitado há uma comparação pelo ângulo provido do acelerômetro com o ângulo desejado, e a partir deste ponto o microcontrolador reajusta a plataforma em relação ao ângulo fornecido pelo acelerômetro, até que o ângulo atual seja o que foi solicitado (Figura 31).

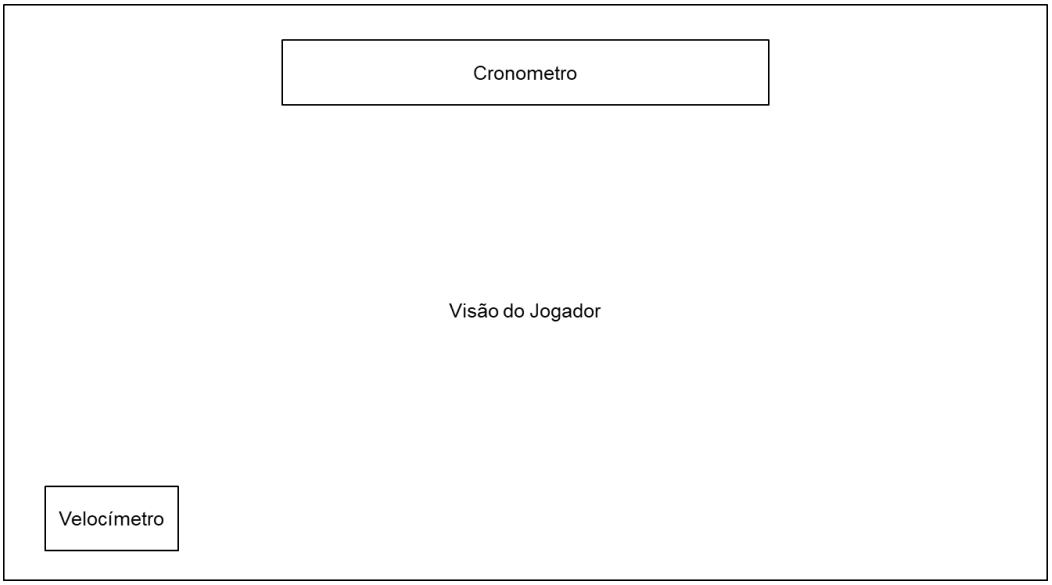
Figura 31 - Requisição de inclinação



3.4.5 Características do Jogador

O jogador terá uma visão ampla do cenário, juntamente com o temporizador na parte superior da visão, e um velocímetro para a representação visual da atual velocidade em declive pode haver possíveis alterações devidas à inclinação, ou movimentação do jogador (Figura 32).

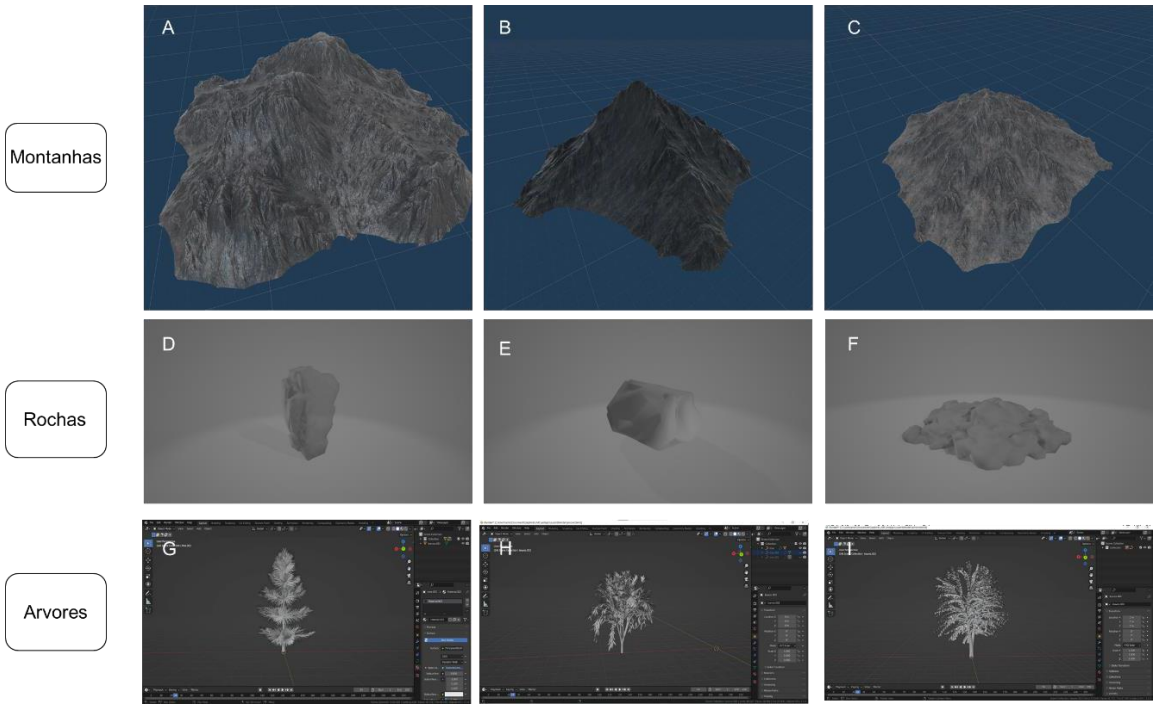
Figura 32 - Prototipagem de interface de usuário



3.4.6 Cenário

A primeira ideia de cenário do jogo foi de uma montanha onde ocorreria a partida (Figura 34 A, B, C), e por necessidades de preencher o cenário montanhoso para a imersão foram realizados utilizando o ©Blender, modelos 3D complementares (Figura 34D há Figura 34I)

Figura 33 - Cenários. A) montanha 1, B) montanha 2, C) montanha 3, D) rocha 1, E) rocha 2, F) rocha 3, G) arvore 1, H) arvore 2, I) arvore 3



3.5 TESTE E VALIDAÇÃO

Nesta etapa, para verificar os requisitos do software e suas funcionalidades foram realizados teste de Caixa Preta e teste de Caixa Branca.

3.5.1 Testes de Software

3.5.1.1 Teste de Caixa Preta

O teste de caixa preta (Quadro 4) é utilizado para a verificação das funções e desempenho, sem a profundidade de se observar as funcionalidades internas do software (PRESSMAN, 2006).

Foi realizado segmentando parte do sistema em ações individuais (sete ações), onde partes das funcionalidades totais foram desabilitadas para observar o comportamento individual do sistema além de suas respostas. O teste acontece com a realização solo da ação, observando a resposta ocorrida, com a resposta esperada.

Quadro 4 - Teste de verificação de funcionalidades Caixa Preta

Ação	1	2	3	4	5	6	7
Pressionou Botão Iniciar/Fim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pressionou Botão de Impulso	X	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Centro de Massa do Indivíduo para Esquerda/ Direita	X	X	Não	X	X	X	X
Centro de Massa do	X	X	X	Não	X	X	X

Quadro 4 - Teste de verificação de funcionalidades Caixa Preta

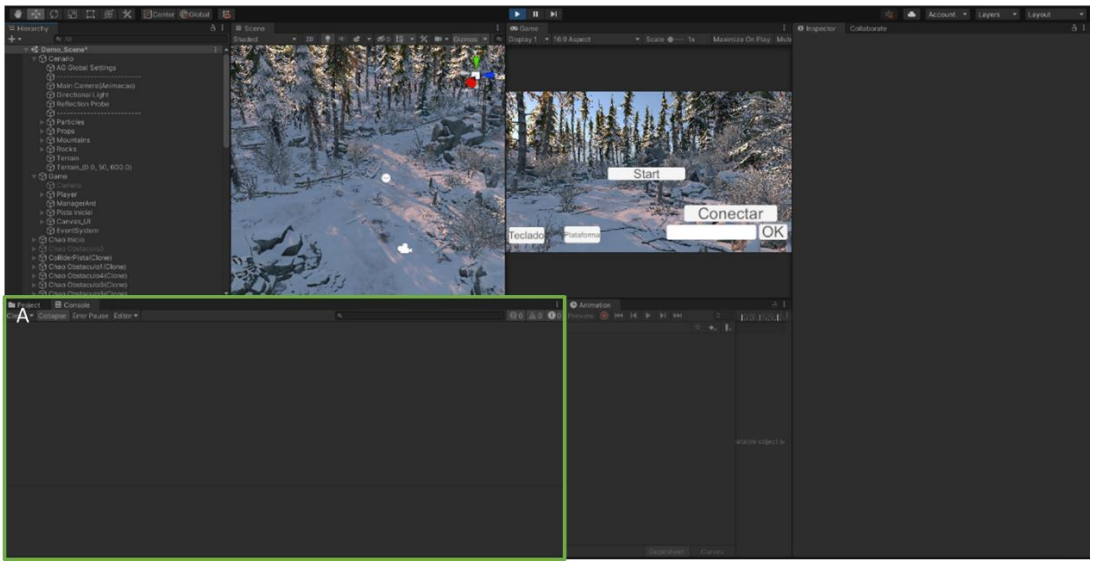
indivíduo para trás							
Centro de Massa do indivíduo para frente	X	X	X	X	Não	X	X
Passou pelo mudança de Inclinação (*Check-Point*)	X	X	X	X	X	Não	X
Colidiu em um obstáculo	X	X	X	X	X	X	Não
Saída Esperada	Jogador não foi direcionado para o Início do jogo	Não começou o jogo	Personagem não se locomoveu para os lados	Personagem não teve diminuição de velocidade	Personagem não teve aumento de velocidade	Não houve mudança de inclinação na plataforma	Não houve reduçã o de velocidade do personagem
Saída Ocorrida	Jogador não foi direcionado para o Início do jogo	Não começou o jogo	Avatar não se locomoveu para os lados	Não houve diminuição de velocidade do avatar	Não houve aumento de velocidade do avatar	Não houve mudança de inclinação na plataforma	Não houve reduçã o de velocidade do avatar

3.5.1.2 Teste de Caixa Branca

O teste de caixa branca é feito ao avaliar e garantir a funcionalidade e qualidade do software, ou seja, validar somente a lógica (MEDEIROS, 2004).

O motor gráfico *Unity* possui em seu sistema, uma aba de verificação de problemas (Figura 35), e informa ao desenvolvedor, se o código (script) implementado possui algum tipo de erro, o advertindo.

Figura 34 - Jogo no software unity com a verificação de erro. A) Console da Unity ilustrando se há algum problema interno na codificação enquanto o programa está sendo testado



3.5.1.3 Teste baseado em Falhas e Erros

A técnica de teste baseada em erros utiliza informações sobre os tipos de inconsistências que ocorrem frequentemente no processo de desenvolvimento de *software*. A ênfase desta técnica está nos erros que o programador pode cometer durante o desenvolvimento, sendo que as técnicas mais utilizadas para este tipo de teste é a Semeadura de Erros e a Análise de Mutantes (Budd, 1981). Neste texto dá-se ênfase ao critério Semeadura de Erros.

Neste teste (Figura 35) foi utilizado um método de Semeadura de Erros, onde é inserido um “Erro” artificialmente no programa, e é analisado se eles são prováveis ou improváveis de ocorrerem durante a execução do sistema, descartando somente aqueles propositalmente inseridos.

Figura 35 - Teste Baseado em Falhas e Erros

Teste baseado em Falhas e Erros			
Semeadura de Erros			
Numeração	**Erro Inserido**	**Erros Relatados**	**Classificação do Erro**
TBFE#000	*Loop* de criação de Mapa	*Frame Rate* baixo	Provavel
X	X	Respostas lenta do sistema	Improvavel
X	X	Alta demanda de processamentos	Provavel
X	X	*Stack OverFlow*	Improvavel
TBFE#001	Falha nos *Check-Points* (Mudança de inclinação)	Não haverá alterações de declives na pista	Improvavel
X	X	Velocidade do avatar não se altera	Improvavel
X	X	Falha na comunicação do Sistema Responsivo	Improvavel
TBFE#002	Erros nas funcionalidades dos obstáculos	Não ocorrer o *despawn* do objeto	Provavel
X	X	Não adicionar pontuação no contador de erros	Improvavel
X	X	Não diminuir a velocidade do avatar	Improvavel
X	X	Bloquear o percurso do jogador	Provavel
TBFE#003	Finalização do jogo	Continuidade do Cronômetro	Improvavel
X	X	Avatar com movimento continuo	Improvavel
X	X	Sem ocorrencia da re-calibragem da plataforma de força	Improvavel
X	X	Não é possivel a interação com os objetos de cena	Provavel

3.5.1.4 Teste de Projeto de Casos

Este teste (Figura 36), ilustra como o sistema deve funcionar em relação com as devidas entradas, e caso esteja em conforme, será realizado da forma proposta (SOMMERVILLE, 2007).

Figura 36 - Teste de Projeto de Casos

Projeto de Casos de Teste			
Numeração	**Caracteristicas**	**Entradas**	**Saídas**
PCT#000	Sistema de movimentação do personagem	Células de Carga da Plataforma de força; Teclado ("W,A,S,D"); *Joysticks*	Movimentação Antero-Posterior e Latero-Lateral do avatar
PCT#001	Sistema Responsivo	*Check-Points (Jogo)*	Alteração de inclinação da plataforma de força
PCT#002	Sistema de interação com o cenario (*UI* e Telas)	Mouse, *Joysticks*	Interações com os botões e interfaces do jogo

3.5.1.5 Teste de Unidade

O teste unitário é o processo de testar os componentes de programa, como métodos ou classes de objeto (SOMMERVILLE, 2007). Neste teste (Figura 37, 38, 39 e 40) são especificados as funcionalidades esperando que estas correspondam com os resultados, para que possa haver uma confirmação de funcionamento para aquela funcionalidade.

Para a realização deste teste foi segmentado as funcionalidades em seus respectivos controles e uma tabela para as funcionalidades que abrangem o sistema ao todo independente da entrada escolhida.

Foi selecionado para todos os Controles (Figura 37,38 e 39) as funcionalidades de movimentação do avatar e as variações de velocidade. Entretanto, somente o controle do teclado (Figura 37) não possui uma ação exclusiva.

Figura 37 - Teste de Unidade - Teclado

Controles - Teclado		
Funcionalidade	**Resultado**	**Checagem**
Movimentação Latero-Lateral do avatar com o Teclado	Movimentação para os lados	Aprovado
Aceleração do avatar com Teclado	Aceleração de velocidade do avatar	Aprovado
Redução de velocidade com Teclado	Redução de velocidade do avatar	Aprovado

Para o Controle - *Joystick* (Figura 38) além das interações básicas do avatar, pode-se observar uma funcionalidade extra, referente aos obstáculos que fazem com que o controle tenha leves vibrações que sinalizam ao jogador que houve uma colisão.

Figura 38. Teste de Unidade - *Joystick*

Controles - *Joystick*		
Funcionalidade	**Resultado**	**Checagem**
Movimentação Latero-Lateral do avatar com o *Joystick*	Movimentação para os lados	Aprovado
Aceleração do avatar com *Joystick*	Aceleração de velocidade do avatar	Aprovado
Redução de velocidade com *Joystick*	Redução de velocidade do avatar	Aprovado
Colisões com obstáculos	Vibração do controle	Aprovado

Com o uso da plataforma de força além das funcionalidades básicas, o controle respectivo (Figura 39), possui a interação do sistema do jogo que em localidades aleatórias e sinalizadas, possam controlar as inclinações das chapas de metal do *hardware*.

Figura 39 - Teste de Unidade - Plataforma de Força

Controles - Células de Carga		
Funcionalidade	**Resultado**	**Checagem**
Movimentação Latero-Lateral com as células de carga	Movimentação para os lados	Aprovado
Aceleração do avatar com células de carga	Aceleração de velocidade do avatar	Aprovado
Redução de velocidade com células de carga	Redução de velocidade do avatar	Aprovado
Check-Points	Alteração de inclinação das chapas de metal da plataforma	Aprovado

Existem funcionalidades que não são influenciadas pelo controle selecionado. Este sistema possui botões que direcionam o usuário para uma determinada área do jogo e interagem com outros elementos do jogo: objetos interativos ao concluir a fase, geração de mapas para diversidade de desafios, interfaces de tempo e velocidade para o usuário, pontos de alteração de velocidades, obstáculos a serem evitados e uma interface para o registro de todas as informações obtidas durante o jogo.

Figura 40 - Teste de Unidade - Funcionalidades Geral

Geral		
Funcionalidade	**Resultado**	**Checagem**
Interações com botões	Mudança de Tela	Aprovado
Interações com objetos	Segurar os troféus e as tabuletas	Aprovado
Geração de Mapa	Spawns de segmentos pré montados de forma randomica	Aprovado
Colisões com obstáculos	Desaceleráção de velocidade do avatar	Aprovado
Check-Points	Alteração de velocidade do avatar	Aprovado
Cronometro	Mede intervalos de tempo	Aprovado
Contador de colisões	Quantifica as colisões ocorridas	Aprovado
Velocimetro	Quantifica a velocidade atual do avatar em relação ao declive enfrentado	Aprovado
Interface de Registro de dados	Salva em um arquivo de texto os dados da partida	Aprovado

3.6 AVALIAÇÕES FUTURAS

Neste tópico será abordado as validações programadas para a verificação de usabilidade do sistema com profissionais e indivíduos saudáveis, além da descritiva dos aspectos éticos do projeto.

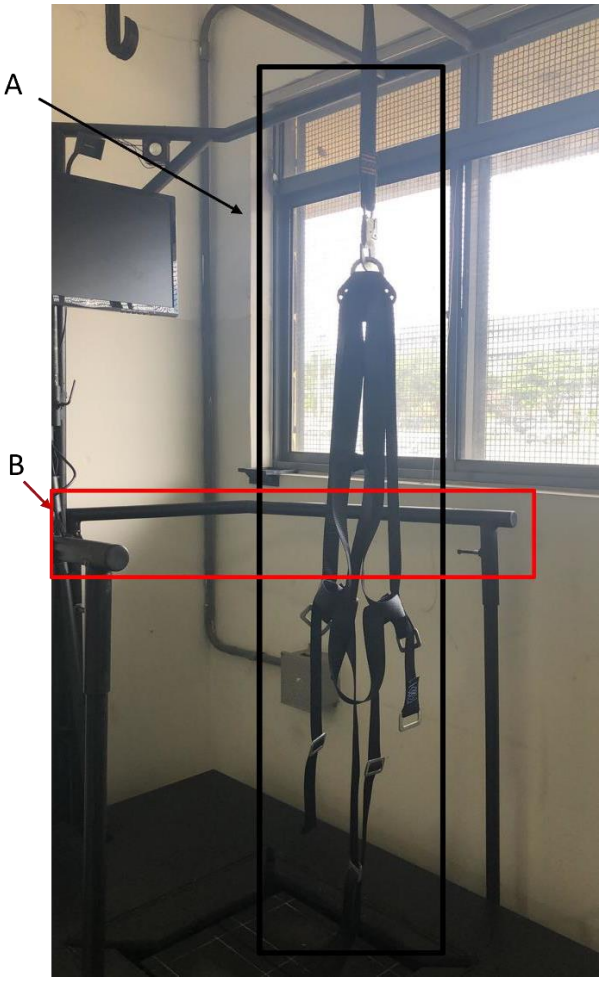
3.6.1 Avaliação de Usabilidade

Inicialmente será selecionado 5 especialistas em desenvolvimento de software para a avaliação do sistema, onde eles serão submetidos a utilizarem o sistema e responderem a dois questionários referentes a usabilidade e funcionalidades (System Usability Scale (SUS) e *GameFlow*).

Após o verossímil do sistema, serão convidados para participar do estudo 30 indivíduos da região do Alto Tietê. O número da amostra por grupo foi baseado no Teorema do Limite Central (KAR; RAMALINGAM, 2013) e os participantes estarão sujeitos a participar de três testes de equilíbrio.

Para a utilização do sistema será instruído utilizarem o equipamento de segurança da plataforma (Figura 35), ou seja, cintas de segurança (Figura 35A) para circunstâncias mecânicas imprevistas e aconselhado a utilizarem as barras laterais (Figura 35B) para apoio caso haver a necessidade. Os participantes serão divididos em grupos que poderão utilizar o sistema proposto ou realizar somente os testes controles. O protocolo de uso foi aprovado pelo Comitê de Ética (CEP) (CAAE - 66126822.1.0000.5497) e será implementado no projeto de doutorado do autor.

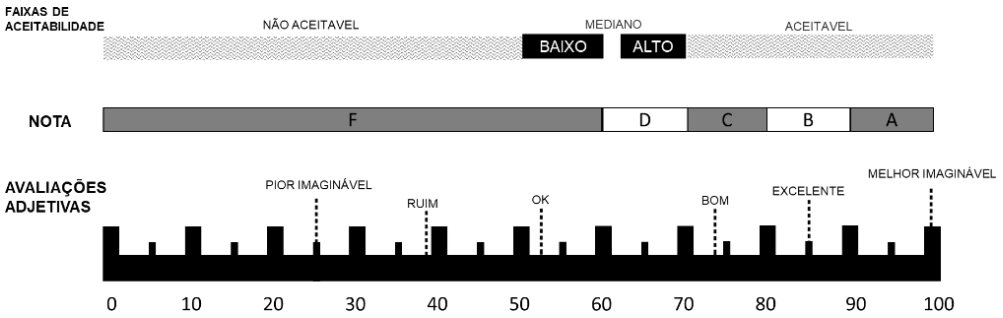
Figura 41 - Equipamento de segurança da plataforma de força. A) Cinta, B) Barras laterais



3.6.1.1 System Usability Scale (SUS)

A escala SUS é um questionário de usabilidade que consiste em 10 perguntas (*Anexo I*) que varia entre 1 (Discordo Plenamente) e 5 (Concordo Plenamente). Ela é calculada de forma que as perguntas de número ímpar sejam subtraídas 1 ponto que o usuário respondeu, e as perguntas pares, seja subtraído o número respondido de 5 (5-X), após o cálculo é somado o valor e multiplicado por 2.5, sendo que o resultado seja uma variação entre 0 a 100 (Figura 36) (PADRINI *et al*., 2019).

Figura 42 - Pontuação escala de usabilidade de sistemas



Fonte: Brooke *et a*l (2013)

3.6.1.2 Avaliação da Experiência do Usuário

A experiência do usuário será avaliada pela escala *Game Flow (*Anexo II*)*, que é um instrumento de mensuração baseado na teoria de fluxo que determina que fatores são importantes para uma experiencia de atenção imersiva e satisfação do usuário com a atividade proposta. Sendo composto por questões que são divididas de acordo com domínios. Estes domínios dizem respeito a concentração, desafios, habilidades, controle, objetivos, *feedback*, imersão e interação social (CSIKSZENTMIHALYI.; 2013). A escala *Game Flow* em sua versão original utiliza de graus de concordância para a quantificação da presença e atendimento pleno de um requisito, entretanto no atual trabalho foi adaptado as afirmativas, baseando em uma escala *Linkert*. As possíveis respostas para as questões eram: Concordo Plenamente, Concordo Parcialmente*,* Não sei, Discordo Parcialmente e Discordo Totalmente. As graduações variam de 1 (Discordo Totalmente) até 5 (Concordo Plenamente). As questões estão expostas no Anexo 2.

A média de um domínio é indicativo se aquele quesito está sendo atendido ou não, e o grau de sua implementação, neste caso, em um jogo. Médias inferiores a 3, são indicativas que aquele domínio não está sendo satisfatório, ou seja, o jogo precisa

de reformulações estruturais e técnicas para atender a esse requisito. Médias acima de 4 são indicativas que o jogo atende os critérios pelo menos de forma parcial, podendo ser aprimorado de forma local. E Média igual a 5 significa que o jogo atingiu a sua quantificação de qualidade máxima (MATALLAOUI *et al,* 2016).

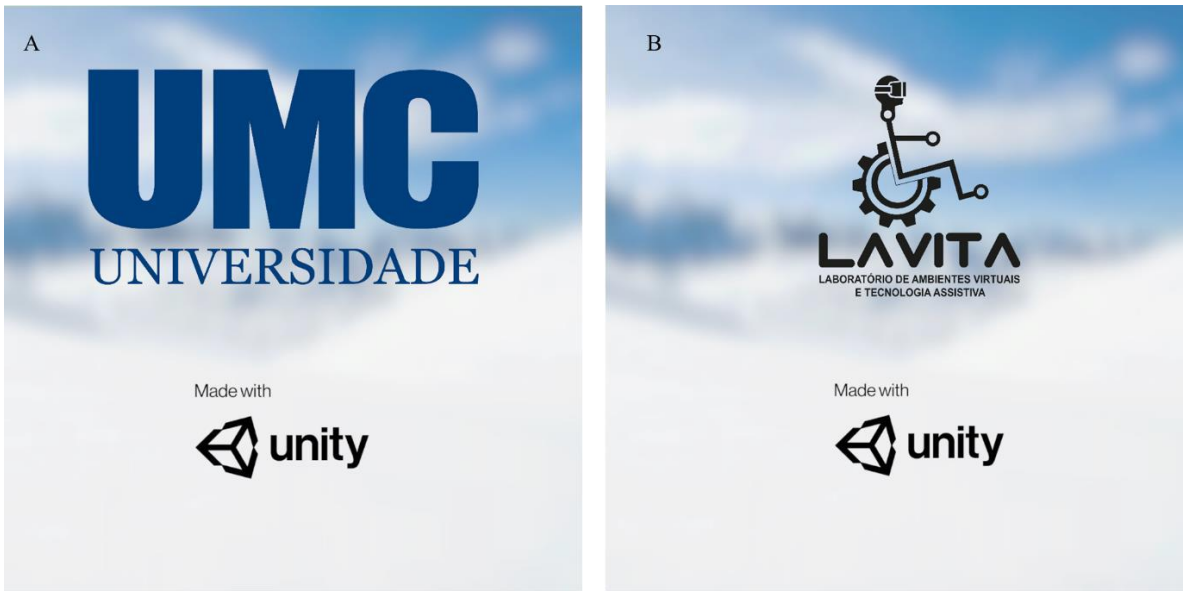
4 RESULTADOS

Neste capítulo será apresentado os resultados das implementações vistas no capítulo anterior.

4.1 INICIALIZAÇÃO DO JOGO

Após feito a construção do jogo e começado a execução do software, a tela de inicialização é apresentada ao usuário e exibe sequencialmente as Logos da Universidade de Mogi das Cruzes (UMC) (Figura 37A) e do Laboratório de Ambientes Virtuais e Tecnologia Assistiva (LAVITA)(Figura 37B).

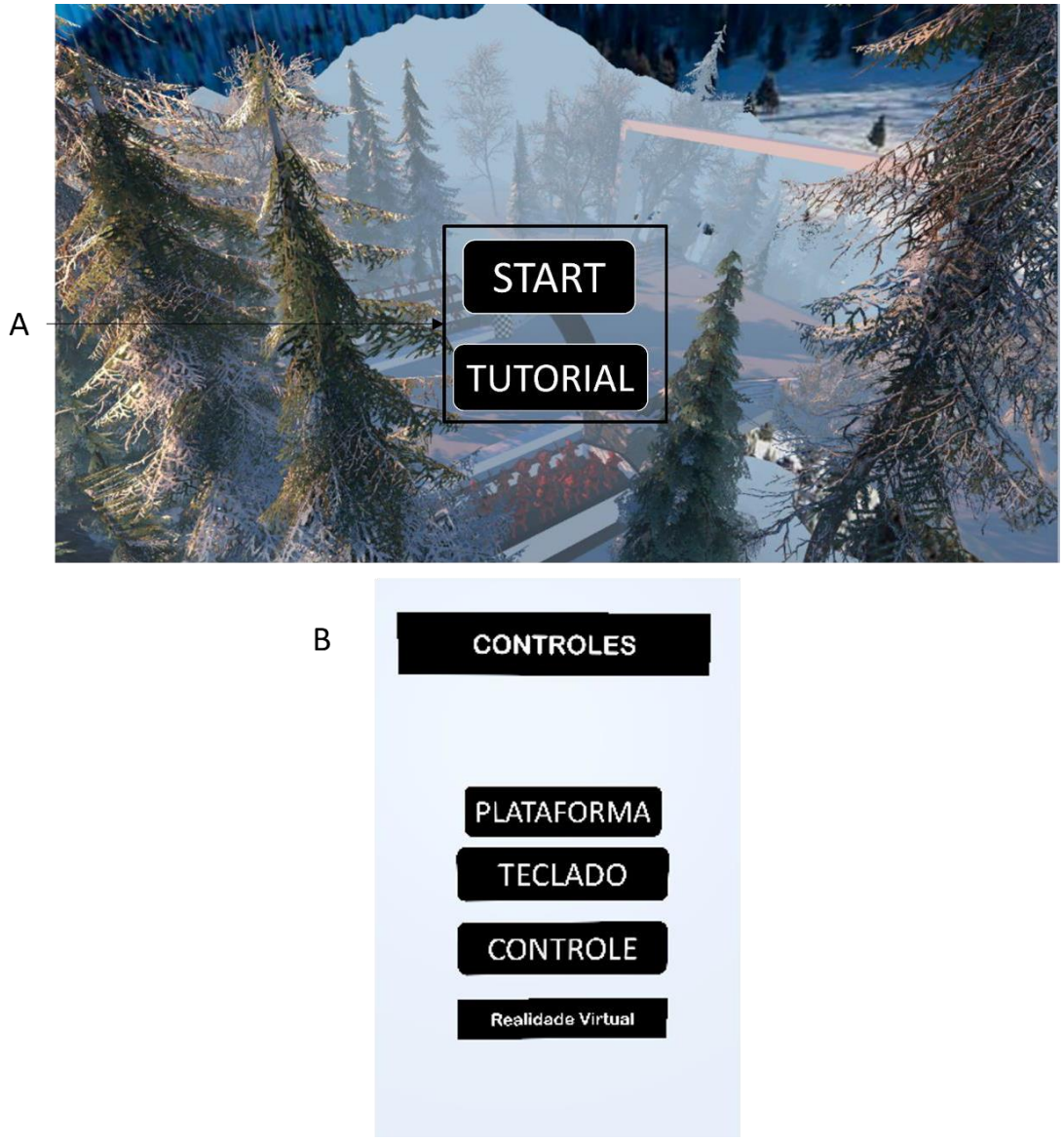
Figura 43 - Inicialização do jogos. A) logo da universidade de mogi das cruzes, B) logo do laboratório de ambientes virtuais e tecnologia assistiva.



4.2 JOGO

Após a Inicialização o usuário é redirecionado para a tela inicial (Figura 38) que o possibilita a escolha de controle (Figura 38B), ou selecionar um dos dois modos disponível de jogo (Figura 38A). Neste estudo foi utilizado uma plataforma de força e um conjunto de controle e óculos de realidade virtual (Oculus Rift).

Figura 44 - Tela inicial do jogo. A) seleção de modo de jogo, B) seleção de controles



4.3 INTERFACEAMENTO

Ao pressionar o botão de começo o mapa é criado randomicamente, e o jogador é redirecionado para a pista de começo (Figura 39A), onde o jogador tem acesso as informações de velocidade e tempo de partida (Figura 39B e Figura 39C). O jogo começa quando o usuário der um comando de “Impulso”, ao qual iniciará o temporizador e a corrida.

Figura 45 - Começo do jogo. A) começo do jogo, B) velocímetro, C) temporizador



4.4 FINALIZAÇÃO DO JOGO

Na geração de mapa após determinada quantidade de pistas geradas, a área de finalização do jogo é criada (Figura 40), onde se alcançada, os *non-player-characters* (NPCs) junto com o avatar, parabeniza a conclusão do jogo mostrando as estatísticas de tempo (Figura 41C) e de colisões ocorridas durante a partida (Figura 41A), juntamente com um botão (Figura 41B) que levará o usuário para a tela inicial com uma possível nova pista.

Figura 46 - Parte de finalização do jogo



Figura 47 - Tela final. A) quantidade de colisões. B) botão de finalização do jogo, C) tempo total da partida



4.4.1 Inclinação

No mapa existe locais (Figura 42), no qual ultrapassada, modula a inclinação da plataforma de força e a velocidade do jogador. A inclinação da pista ocorre na criação do mapa

Figura 48 - *Check-point*



4.5 OBJETOS DE CENA

As modelagens (Figuras 43) feitas no software de modelagem Blender, foram utilizadas como parte do cenário, as montanhas (Figura 43A) possuem em sua constituição de malha (faces, arestas e vértices) um desnível para a aplicação de elementos físicos colocados na *Unity*, que por consequência impedirá o jogador de continuar a trajetória da pista, as arvores (Figura 43D) juntamente com os galhos (Figura 43F) foram utilizadas como obstáculos a serem evitados pelo percurso, pois sua modelagem não interfere negativamente no jogo, as demais modelagens (Figura 43 B,C,E), compõem os demais elementos de cenário (Figura 44).

Figura 49 - Modelos texturizadas

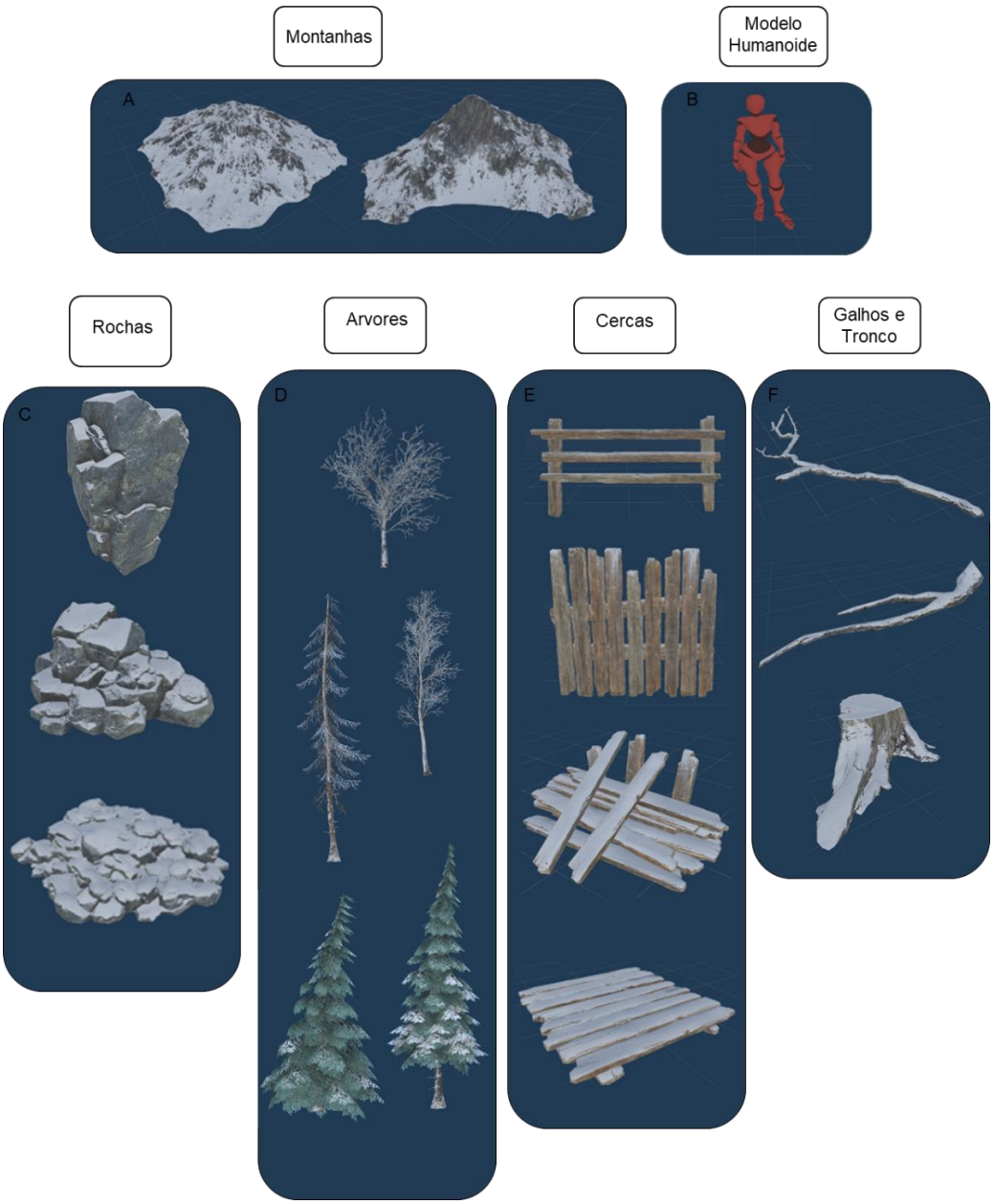


Figura 50 - Cenário com objetos modelados



5 DISCUSSÃO

Em estudos já realizados, a inclusão de jogos para o treinamento motor juntamente com algum equipamento sensorizado é capaz de gerar melhoras físicas em pessoas com algum déficit, e foi evidenciado que a tele reabilitação pode aumentar a motivação de treinos, permitindo uma duração mais ampla, além de ser uma outra alternativa a uma intervenção clínica (Schröder *et al;* 2019).

Foi desenvolvido um sistema entre um jogo e uma plataforma de força, onde o jogo possui total controle das interações da plataforma de força, sendo que na literatura existem inúmeros trabalhos que envolvem algum tipo de plataformas de força implementadas a um jogo (AN; SHAUGHNESSY, 2011; Schröder *et al,* 2019), entretanto há falta de sistemas responsivos que atuem para o aprimoramento dos treinos de equilíbrio atualmente.

Este projeto foi desenvolvido exclusivamente para a plataforma de força desenvolvido no Laboratório de Ambientes Virtuais e Tecnologia Assistiva (LAVITA) da Universidade de Mogi das Cruzes (UMC).

O sistema de erros e de mudança de inclinação, são representados por *feedbacks* visuais e sensitivos, correspondentes ao velocímetro localizado na visão do usuário, e os *Check Points* aparentes pelo decorrer da pista. No canto inferior esquerdo o velocímetro marca a velocidade atual do personagem, que varia a velocidade máxima em relação ao declive da pista ou até mesmo se caso colida em algo, nota-se que ao colidir em um obstáculo a velocidade do personagem decai mesmo sem a mudança de inclinação, e isso possibilita uma sensação de imersividade aos quais os jogos para reabilitação vistos não se beneficiam (Schröder *et al,* 2019).

No jogo comercial *WiiSki* (©Nintendo) e *KinSki* (©Microsoft), há a proposta da utilização do esqui para entretenimento, onde Vries *et al.* (2018) constou que um ambiente de esqui pode desafiar os participantes a movimentar seus Centro de Massa (COM).

Quanto ao design, foi escolhido um ambiente realista referente a esse tema, para que reproduzisse uma sensação de instabilidade e ao mesmo tempo de aventura, que possam entreter e estimular as pessoas a se locomover em um ambiente desconhecido, tendo em vista que os jogos sérios possuem uma finalidade terapêutica associada ao entretenimento, e como trabalho futuro haverá a implementação de alteração destes cenários. Todas as modelagens e texturas foram

realizadas com intuito de aumentar a imersividade do jogo, diferente dos trabalhos de Lee *et al* (2018), que introduziu um equipamento que simulasse somente as inconsistências do mar, fazendo com que o ambiente dentro do jogo seja lúdico ao que seria realizado a fora, pois segundo Fonseca *et al* (2019) um jogo com uma aproximação mais realista, atrai e motiva um público mais adulto.

Na maioria dos estudos vistos sobre *game* terapia a utilização de plataformas de força é para a métrica dos centros de pressão para a melhora do controle postural, e os jogos associados não possuem os controles de seus respectivos equipamentos. Entretanto o estudo atual registra o deslocamento do centro de pressão, o tempo de decorrido de partida, além do total controle da inclinação e de velocidade da plataforma de força, podendo ser utilizadas na prática para avaliar o equilíbrio devido as oscilações nos movimentos latero-lateral e ântero-posterior.

Foi selecionado 5 desenvolvedores de softwares para avaliar a usabilidade e experiencia com o jogo proposto, tendo em vista que Virzi (1992) menciona que para o teste de usabilidade um total de 5 voluntários é o suficiente para solucionar a maioria dos erros encontrados para a usabilidade.

Realizadas as análises dos dados realizados, foi efetuado uma conclusão conforme as especificações dos testes, onde a média de todos os domínios alcançaram uma pontuação que indica que o jogo atende os critérios de aceitação, por sua vez de forma parcial, indicando que o sistema pode ser aprimorado.

O sistema pode ser utilizado para qualquer doença do sistema nervoso central tais como:

- Ataxia cerebelar;
- Criança com paralisia cerebral;
- Idoso com osteoporose;
- Pessoas que venham com envelhecimento fisiológico
- AVE;
- Controle postural
- ECNEI

Podendo ser capaz de beneficiar diversos outros públicos, entretanto os precisando avaliar seus efeitos, como também possíveis aprimoramentos:

- Spawn de obstáculos aleatórios na pista;
- Melhora nos controles de movimento de personagem;
- Ajustes nos Spawner da Pista;

- Adição de Opções para diversificar a experiencia do jogador;
- Implementação da escolha de tamanho de Pista;
- Implementação de escolha da frequência que a plataforma se inclina;
- Melhorar Texturas;
- Ajustar dificuldades dos desafios.

6 CONCLUSÃO

Foi produzido um jogo capaz de controlar e interagir com uma plataforma de força bipodal com rotação biaxial, o jogo foi integrado a realidade virtual para uma melhor imersão sobre o ambiente proposto, e foi realizado testes de usabilidade e de software para a verificação de aprimoramentos de usabilidade além do comportamento do jogo.

7 CRONOGRAMA

Segue no quadro abaixo as etapas já concluídas pela pesquisa e as próximas etapas que serão desenvolvidas até a finalização deste projeto.

Fases	2021												2022											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Planejamento	X	X	X									X	X											
BrainStorming	X	X	X									X	X											
Desenvolvimento		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X		X	X				
Testes de Mecanicas		X	X	X	X	X		X	X	X			X	X	X	X	X		X					
Ajustes da Plataforma							X	X					X	X		X	X							
Modelagem					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
Validação do Software																			X	X	X			
Análise dos dados																			X	X	X	X	X	
Revisão e apresentação da dissertação																X	X	X				X	X	X

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, Julian; DJAOUTI, Damien. An introduction to Serious game - Definitions and concepts. **LARSEN Science**, Serious Games & Simulation for Risks Management, v. 11, n. 1, p. 11-15, dez. 2011. Disponível em: http://www.hayka-kultura.org/images/Proceedings%20SGS%20Wkshp%202011%20ind%2004.pdf#page=11
Acesso em:26/03/2023

AN, Minjeong; SHAUGHNESSY, Marianne. The effects of exercise-based rehabilitation on balance and gait for stroke patients: a systematic review. **Journal of Neuroscience Nursing**, v. 43, n. 6, p. 298-307, dez. 2011. Disponível em: https://journals.lww.com/jnnonline/Abstract/2011/12000/The_Effects_of_Exercise_Based_Rehabilitation_on.4.aspx
Acesso em:26/03/2023

AYED, Ines *et al*. Feasibility of Kinect-Based Games for Balance Rehabilitation: A Case Study. **Hindawi Journal of Healthcare Engineering**, v. 2018, ID 7574860, p. 1-8, jun. 2018. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6079427/pdf/JHE2018-7574860.pdf.
Acesso em:26/03/2023

BELL, Frank *et al*. **Principles of mechanics and biomechanics**. 1998.

BAKKER, Julia; DONATH, Lars; REIN, Robert. Balance training monitoring and individual response during unstable vs. stable balance Exergaming in elderly adults: Findings from a randomized controlled trial. **Experimental Gerontology**, 28 jul. 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0531556520303855?via%3Dihub
Acesso em:26/03/2023

BROOKE, John *et al*. SUS: A Retrospective. **JUS, Journal of Usability Studies**, v. 8, n. 2, p. 22-40, fev. 2013. Disponível em: https://uxpajournal.org/sus-a-retrospective/
Acesso em:26/03/2023

CSIKSZENTMIHALYI, Mihaly. **Flow: The psychology of happiness**. Random House, 15/11/2013. 320 p.

DUARTE, Marcos; FREITAS, SANDRA. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. **Rev Bras Fisioter**. 2010 MAY-JUN;14(3):183-92. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20730361/
Acesso em:26/03/2023

FONSECA, Guilherme *et al*. Desenvolvimento de jogos para terceira idade: lições aprendidas com design participativo. **SBC – Proceedings of SBGames**. 2019. Disponível em: https://www.sbgames.org/sbgames2019/files/papers/ArtesDesignFull/197748.pdf
Acesso em:26/03/2023

GRANIC, Isabela; LOBEL, Adam; ENGELS, Rutger. The benefits of playing video games. **American Psychologist**, p. 66-78. 2014. Disponível em: https://psycnet.apa.org/record/2013-42122-001
Acesso em:26/03/2023

GARY, Jacobson; CRAIG, Newman. The Development of the Dizziness Handicap

Inventory. **Arch Otolaryngol Head Neck Surg**, p. 424–427, abr. 1990. Disponível em: https://jamanetwork.com/journals/jamaotolaryngology/article-abstract/618622
Acesso em:26/03/2023

HELD, Jeremias *et al*. Autonomous rehabilitation at stroke patients home for balance and gait: safety, usability and compliance of a virtual reality system. **European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine**. 2018. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28949120/
Acesso em:26/03/2023

HSIEH, Hsieh-Chun. Use of a Gaming Platform for Balance Training After a Stroke: A Randomized Trial. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/sdfe/reader/pii/S0003999318314576/pdf
Acesso em:26/03/2023

KACHMAR, Oleh *et al*. Personalized balance games for children with cerebral palsy: A pilot study. **Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine: An Interdisciplinary Approach Throughout the Lifespan.** Disponível em: https://content.iospress.com/articles/journal-of-pediatric-rehabilitation-medicine/prm190666
Acesso em:26/03/2023

KAR, S. S.; RAMALINGAM, A. Is 30 the magic number? Issues in sample size estimation. National Journal of Community Medicine, v. 4, n. 1, p. 175–179, 2013. Disponível em: https://www.bibliomed.org/mnsfulltext/159/159-1494583339.pdf?1680012165
Acesso em:26/03/2023

KLEINER, A. F. R.; SCHLITTLER, D. X. D. C.; SÁNCHEZ ARIAS, M. D. R. O papel dos sistemas visual, vestibular, somatosensorial e auditivo para o controle postural. **Revista Neurociências**, *[S. l.]*, v. 19, n. 2, p. 349–357, 2011. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/72584/2-s2.0-79960805288.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Acesso em:26/03/2023

LEE, Myung *et al*. Game-Based Virtual Reality Canoe Paddling Training to Improve Postural Balance and Upper Extremity Function: A Preliminary Randomized Controlled Study of 30 Patients with Subacute Stroke. **Medical Science Monitor**, 27 abr. 2018. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5944399/
Acesso em:26/03/2023

LIM, Dohyung *et al*. Use of the Microsoft Kinect system to characterize balance ability during balance training. **Clin Interv Aging**, p. 1077–1083., 30 jun. 2015. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4493972/
Acesso em:26/03/2023

LUNDY, Ekman. **Neurociência - Fundamentos para a Reabilitação**. 2004.

MADHAVAN, Sangeetha; PRADHAN, Sonia. Relationship between Nintendo's Wii balance board derived variables and clinical balance scores in individuals with stroke. **Gait & Posture**. Disponível em: https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0966636220301430?token=9C4262273D7BEFA95EE06A92D4702D6AB37BBB25C68CD9E3F31CAE624F5E3B83F7315B19777A4B6CB0BE09D0397DAC7E&originRegion=us-east-1&originCreation=20230328140916

Acesso em:26/03/2023

MANN, Luana *et al*. Equilíbrio corporal e exercícios físicos: uma revisão sistemática / Corporal balance and physical exercises: a systematic review. **Motriz rev. educ. fís.** jan. 2009. Disponível em: https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-535220
Acesso em:26/03/2023

MANN, Luana *et al*. INVESTIGATION OF THE CORPORAL BALANCE IN ELDERLY PEOPLE. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, v. 11, n. 2, p. 155-165, jan. 2008. Disponível em: https://www.redalyc.org/pdf/4038/403838778003.pdf
Acesso em:26/03/2023

MATALLAOUI, Amir *et al*. **Introduction to Gamification**: Foundation and Underlying Theories. 2016. 16 p. First Edition Online, Springer, Cham, 05 October 2016.

MEDEIROS, Ernani. **Desenvolvendo Software Com Uml 2.0**:definitivo. São Paulo: Pearson, 2004. *E-book.*

MILLS, Richard; LEVAC, Danielle; SVEISTRUP, Heidi. The Effects of a 5-Day Virtual-Reality Based Exercise Program on Kinematics and Postural Muscle Activity in Youth with Cerebral Palsy. **Physical & Occupational Therapy In Pediatrics**. 2018. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01942638.2018.1505801?journalCode=ipop20
Acesso em:26/03/2023

MIRANDA, Camila *et al*. Balance Training in Virtual Reality Promotes Performance Improvement but not Transfer to Postural Control in People with Chronic Stroke. **GAMES FOR HEALTH JOURNAL**. 2019. Disponível em: https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/g4h.2018.0075?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%200pubmed
Acesso em:26/03/2023

NUIC, Dijana *et al*. The feasibility and positive effects of a customised videogame rehabilitation programme for freezing of gait and falls in Parkinson's disease patients: a pilot study Dijana Nuic,. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation** 2018. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5894136/
Acesso em:26/03/2023

PADRINI-ANDRADE, L.; DE CÁSSIA XAVIER BALDA, R.; BANDIERA-PAIVA, P.; et al. Avaliação da usabilidade de um sistema de informação em saúde neonatal segundo a percepção do usuário. Scopus, 2019. Disponível em: https://repositorio.unifesp.br/bitstream/handle/11600/50782/Tese-16777.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Acesso em:26/03/2023

PHILLIPS, JS *et al*. Vestibular rehabilitation using video gaming in adults with dizziness: a pilot study. **Laryngol Otol**, p. 202-206, mar. 2018. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-laryngology-and-otology/article/vestibular-rehabilitation-using-video-gaming-in-adults-with-dizziness-a-pilot-study/27ED19516881A18089A41592A5CF445E
Acesso em:26/03/2023

POLLOCK, A S. What is balance? **Clin Rehabil**, [*S. l.*], p. 402-406, ago. 2000. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.1191/0269215500cr342oa?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%200pubmed
Acesso em:26/03/2023

PRESSMAN, Roger. **Engenharia De Software**. 6ª Edição, Mcgraw-Hill Interamericana 2006.

RAHAL, M. A.; *et al*. Analysis of static and dynamic balance in healthy elderly practitioners of Tai Chi Chuan versus ballroom dancing. **Clinics**, São Paulo, v. 70, n. 3, p.157-161, 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/j/clin/a/mGcmqhJVQgRfRHd5Y4m7GzC/?format=pdf&lang=en. Acesso em: 26/03/2023.

ROSENBERG, Dori *et al*. Exergames for subsyndromal depression in older adults: a pilot study of a novel intervention. **Geriatr Psychiatry**, p. 221-226, mar. 2010. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2827817/
Acesso em:26/03/2023

SANTOS, K.; GOEDERT, A.; BENTO, P.; RODACKI, A. Associação entre exercício físico e propriocepção em idosos: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde**, v. 20, n. 1, p. 17, 2015. Disponível em: https://rbafs.org.br/RBAFS/article/view/3351
Acesso em:26/03/2023

SCHRÖDER, Jonas *et al*. Combining the benefits of tele-rehabilitation and virtual reality-based balance training: a systematic review on feasibility and effectiveness. **Disabil Rehabil Assist Technol**, [*S. l.*], p. 2-11, jan. 2019. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17483107.2018.1503738?journalCode=iidt20
Acesso em:26/03/2023

MANCALA AWELÉ Coleção Jogos de Tabuleiro. , Prefeitura de SÃO PAULO. 3ª Edição, Livro Digital, 2020.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 8ª Edição. São Paulo: Pearson Education Brasil, 2007.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia De Software**. 9ª Edição. São Paulo: Pearson Education Brasil, 2011.

SIGMUND, Tobias; FLETCHER, JD. **Computer Games and Instruction**. 1ª Edição. Information Age Publishing,2011.

BUDD.T. A. Mutation Analysis: Ideas, Example, Problems and Prospects, chapter Computer Program Testing. North-Holand Publishing Company, 1981. Disponível em: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:780264/FULLTEXT01.pdf
Acesso em:26/03/2023

VIRZI, R. A. Refining the test phase of usability evaluation: How many subjects is enough? **Human Factors**, v. 34, n. 4, p. 457–468, 1992. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/001872089203400407
Acesso em:26/03/2023

VRIES, Aijse *et al*. Virtual reality balance training for elderly: Similar skiing games elicit different challenges in balance training. **Gait Posture**, p. 111-116, jan. 2017. Disponível em:
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636217309621?via%3Dihub
Acesso em:26/03/2023

YESILYAPRAK, Sevgi *et al*. Comparison of the effects of virtual reality-based balance exercises and conventional exercises on balance and fall risk in older adults living in nursing homes in Turkey. **Physiother Theory Pract**, p. 191-201, 6 abr. 2016. Disponível em:
https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/09593985.2015.1138009?journalCode=iptp20
Acesso em:26/03/2023

ZAVE, Pamela. Classification of Research Efforts in Requirements Engineering. **ACM Computing Surveys**, p. 315-321, 1 dez. 1997. Disponível em:
https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/267580.267581
Acesso em:26/03/2023