

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ANDRELISE NUNES LEMOS PINHEIRO

**PROPOSTA DE SOLUÇÃO NO APOIO
DE SESSÕES DE FISIOTERAPIA PARA
AMPUTADOS BASEADA EM
GAMIFICAÇÃO**

**Bagé
2021**

ANDRELISE NUNES LEMOS PINHEIRO

**PROPOSTA DE SOLUÇÃO NO APOIO
DE SESSÕES DE FISIOTERAPIA PARA
AMPUTADOS BASEADA EM
GAMIFICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia de Computação como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Julio Saraçol Domingues Júnior
Coorientador: Érico Marcelo Hoff do Amaral

**Bagé
2021**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

-- Pinheiro, Andrelise Nunes Lemos

Proposta de Solução no Apoio de Sessões de Fisioterapia para Amputados Baseada em Gamificação / Andrelise Nunes Lemos Pinheiro.

143 f.: il.

Orientador: Julio Saraçol Domingues Júnior
Coorientador: Érico Marcelo Hoff do Amaral
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)
- Universidade Federal do Pampa, Engenharia de Computação, 2021.

1. Desafio. 2. Estado de *flow*. 3. Jogos sérios. 4. Motivação. 5. Reabilitação.
I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

ANDRELISE NUNES LEMOS PINHEIRO

**PROPOSTA DE SOLUÇÃO NO APOIO
DE SESSÕES DE FISIOTERAPIA
PARA AMPUTADOS BASEADA EM
GAMIFICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 02 de outubro de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Julio Saraçol Domingues Júnior
Orientador
Unipampa

Prof. Dr. Milton Roberto Heinen
Unipampa

Prof. Dr. Sandro Da Silva Camargo
Unipampa



Assinado eletronicamente por **JULIO SARACOL DOMINGUES JUNIOR, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/09/2022, às 10:40, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **SANDRO DA SILVA CAMARGO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/09/2022, às 11:29, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MILTON ROBERTO HEINEN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/09/2022, às 20:58, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0932230** e o código CRC **A6D29729**.

Referência: Processo nº 23100.017451/2021-96 SEI nº 0932230

Dedico este trabalho aos meus pais Leandro e Neiva que sempre confiaram e acreditaram em mim. E às minhas avós Aurélia e Ester e, também ao meu avô Dirceu que sempre me apoiaram neste caminho, porém, o ciclo de vida deles se encerrou perto do final desta caminhada que é a graduação. A eles o meu muito obrigado.

AGRADECIMENTO

Agradeço à Deus por ter me mantido de pé e com fé a Ele durante toda esta caminhada. Também agradeço aos meus pais, Leandro e Neiva, pelo apoio e, também ao meu companheiro de vida e jornada Daniel que sempre esteve ao meu lado.

Além disso, agradeço aos professores por todos os conhecimentos repassados e que agregaram na minha formação, em especial ao Professor Julio que me auxiliou desde o início até o fim deste trabalho e, também ao Professor Érico.

Por fim, agradeço aos meus amigos e colegas de jornada por todo o apoio e auxílio nos momentos difíceis e, também, aos profissionais fisioterapeutas do Serviço de Reabilitação Física de Bagé/RS pelo apoio na criação desta pesquisa. Para concluir, agradeço o companheirismo da minha amiga canina Paçoca que me acompanhou nesta jornada.

“Porque dele, e por meio dele, e para ele
são todas as coisas. A ele pois, a glória
eternamente. Amém!”

— Romanos 11:36

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver uma solução computacional em hardware e software que utilize metodologias de gamificação para auxiliar os profissionais de fisioterapia nas sessões de reabilitação de amputados de membros superiores e inferiores, que se encontram na etapa pré-protética e protética. Sendo assim, é desenvolvido um simulador de partida de tênis de mesa com o intuito de instigar nos pacientes que os mesmos atinjam o estado de flow durante a sessão. Deste modo, é desenvolvida uma aplicação móvel com o intuito de coletar os dados do sensor giroscópio do smartphone e, através de uma comunicação Bluetooth com a placa de prototipação Arduino, essas informações sejam reencaminhadas para o simulador. Os dados recebidos servem para realizar a movimentação da raquete virtual no jogo. Ademais, os profissionais fisioterapeutas dispõem de uma ferramenta integrada ao simulador de partida de tênis, com a finalidade de acompanhar o progresso dos pacientes durante as sessões. Em suma, a presente solução se demonstra eficaz em auxiliar, tanto os pacientes quanto os profissionais fisioterapeutas, nas sessões de reabilitação física.

Palavras-chave: Desafio. Estado de *flow*. Jogos sérios. Motivação. Reabilitação.

ABSTRACT

The present work aims to develop a computational solution in hardware and software that uses gamification methodologies to help physiotherapy professionals in the rehabilitation sessions of upper and lower limb amputees, who are in the pre-prosthetic and prosthetic stages. Thus, a table tennis match simulator is developed to instigate patients to reach the flow state during the session. Thus, a mobile application is developed to collect data from the smartphone's gyroscope sensor and, through Bluetooth communication with the Arduino prototyping board, this information is forwarded to the simulator. The data received is used to move the virtual racket in the game. Furthermore, physiotherapists have a tool integrated with the tennis match simulator, to monitor the progress of patients during the sessions. In short, this solution proves to be effective in helping both patients and physical therapists in physical rehabilitation sessions.

Keywords: Challenge. Flow State. Serious Games. Motivation. Rehabilitation..

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Diagrama de atividades da metodologia.....	20
Figura 2	Identificação dos níveis de amputação.	23
Figura 3	Estado de <i>flow</i>	28
Figura 4	Arquitetura Harvard de um microcontrolador genérico.	30
Figura 5	Exemplo de Plataforma de Prototipagem e Microcontrolador.	31
Figura 6	Exemplo de Raspberry Pi 3 Model B.	32
Figura 7	Demonstração do funcionamento dos acelerômetros capacitivos.	34
Figura 8	Exemplo de um tipo de acelerômetro e giroscópio de três eixos do tipo MEMS.....	35
Figura 9	Exemplo de um Módulo HC-05.	35
Figura 10	<i>Game Engine</i> Unity.....	36
Figura 11	Demonstração de uma hierarquia de <i>widgets</i>	37
Figura 12	Níveis de jogo disponíveis no Motion Rehab AVE 3D.	39
Figura 13	Interface de configuração de atividades do Motion Rehab AVE 3D.	39
Figura 14	Modelagem 3D de uma prótese de mão.	40
Figura 15	Demonstração da execução do jogo com a utilização do Leap Motion.....	41
Figura 16	Captura de tela dos jogos.....	41
Figura 17	Exemplo de uma prótese mioelétrica.....	42
Figura 18	Posicionamento do Sensor Myo.	43
Figura 19	Cena desenvolvida para experimentação do ambiente virtual.	43
Figura 20	Ideia conceitual.	47
Figura 21	Representação do Modelo em Cascata.	48
Figura 22	Diagramas de casos de uso do usuário.	51
Figura 23	Diagrama de classe conceitual.....	51
Figura 24	Diagrama de sequência do sistema.	52
Figura 25	Diagrama Entidade Relacionamento do <i>software</i>	54
Figura 26	Comunicação entre nó sensor e <i>software</i>	56
Figura 27	Eixo de coordenadas utilizadas como referência pelos sensores.....	56
Figura 28	Montagem do Circuito do Arduino + Módulo HC-05.....	57
Figura 29	Máquina de estados da metodologia de rastreamento da posição.	63
Figura 30	Rastreamento das posições possíveis para a raquete virtual na mesa do jogo.	63
Figura 31	Posicionamento do smartphone junto ao paciente.....	64
Figura 32	Diagrama de sequência da calibragem.	64
Figura 33	Fluxograma da função de validação do movimento.	66
Figura 34	Cena do simulador de partida de tênis de mesa.....	67
Figura 35	Cena de feedback da partida.	68
Figura 36	Cena de coleta dos dados físicos do paciente.	69
Figura 37	Cena de geração do gráfico do coeficiente de desempenho.....	70
Figura 38	Sistemática dos testes realizados.	71
Figura 39	Disposição dos sensores.	73
Figura 40	Validação da solução com paciente.	73
Figura 41	Teste inicial com paciente.....	74
Figura 42	Média de respostas do questionário dos pacientes.	76
Figura 43	Média de respostas do questionário dos fisioterapeutas.	77
Figura 44	Gráfico de desempenho com a linha de tendência do paciente.	78
Figura 45	Representação em um diagrama UML do caso de uso 01.....	95
Figura 46	Representação em um diagrama UML do caso de uso 02.....	96

Figura 47	Representação em um diagrama UML do caso de uso 03.....	96
Figura 48	Representação em um diagrama UML do caso de uso 04.....	97
Figura 49	Representação em um diagrama UML do caso de uso 05.....	98
Figura 50	Representação em um diagrama UML do caso de uso 06.....	99
Figura 51	Representação em um diagrama UML do caso de uso 07.....	99
Figura 52	Representação em um diagrama UML do caso de uso 08.....	100
Figura 53	Representação em um diagrama UML do caso de uso 09.....	101
Figura 54	Representação em um diagrama UML do caso de uso 10.....	101
Figura 55	Representação em um diagrama UML do caso de uso 11.....	102
Figura 56	Representação do diagrama UML de casos de uso da solução TennisGame Physio.	103
Figura 57	Representação em um diagrama UML do caso de uso do nó sensor.....	104
Figura 58	Representação em um diagrama UML do caso de uso do sistema.....	105
Figura 59	Representação em um diagrama UML do caso de uso do usuário.	105
Figura 60	Demonstração da Tela 01.....	110
Figura 61	Demonstração da Tela 02.....	110
Figura 62	Demonstração da Tela 03.....	111
Figura 63	Demonstração da Tela 04.....	111
Figura 64	Demonstração da Tela 05.....	112
Figura 65	Demonstração da Tela 06.....	112
Figura 66	Demonstração da Tela 07.....	113
Figura 67	Demonstração da Tela 08.....	113
Figura 68	Demonstração da Tela 09.....	114
Figura 69	Demonstração da Tela 10.....	114
Figura 70	Demonstração da Tela 11.....	115
Figura 71	Demonstração da Tela 12.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tabela de comparação dos fatores de aplicabilidade e usabilidade dos trabalhos correlatos e da solução proposta.....	44
Tabela 2	Tabela de comparação dos fatores de <i>feedback</i> , ferramenta de desenvolvimento e sensores dos trabalhos correlatos e da solução proposta.....	45
Tabela 3	Tabela de demonstração do Protocolo de Handshake.....	61
Tabela 4	Perfil dos pacientes selecionados para a validação da solução.....	72
Tabela 5	Descrição das funcionalidades das telas	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Conversor analógico-digital
ALU	<i>Arithmetic Logic Unit</i>
CI	Circuito integrado
CPU	<i>Central Process Unit</i>
HDMI	<i>High Definition Multimedia Interface</i>
MCU	Microcontrolador
MEMS	<i>Micro Electro Mechanical System</i>
MPU	Microprocessador
RV	Realidade Virtual
SO	Sistema Operacional
SRF	Serviço de Reabilitação Física
ULA	Unidade lógica e aritmética
UNIPAMPA	Universidade Federal do Pampa
UI	<i>User Interface</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Problema de pesquisa.....	17
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivos gerais	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
1.3 Estrutura do texto	18
2 MATERIAL E MÉTODOS	19
3 REVISÃO DA LITERATURA	22
3.1 Amputação de membros: o que é, causas e níveis de amputações.....	22
3.2 Reabilitação Física de Amputados.....	24
3.2.1 Estágios da reabilitação física de amputados	24
3.3 Informática Médica e suas aplicações	26
3.4 Gamificação: o que é, como funciona, e quais são seus benefícios	26
3.5 Tecnologias aplicadas a reabilitação física de amputados	28
3.5.1 Microcontroladores e single boards.....	29
3.5.2 Sensores	33
3.5.3 Tecnologias de desenvolvimento.....	36
3.6 Trabalhos Correlatos	38
3.6.1 Motion Rehab 3D AVE V2.....	38
3.6.2 Uso de Realidade Virtual e Jogo Sério para Condicionamento e Impressão 3D de Próteses de Baixo Custo	40
3.6.3 Jogos Imersivos de Realidade Virtual para reabilitação da dor do membro fantasma.....	41
3.6.4 Prosthetic Rehabilitation Training in Virtual Reality	42
3.6.5 Análise comparativa.....	44
4 PROPOSTA DE SOLUÇÃO NO APOIO DE SESSÕES DE FISIOTERAPIA PARA AMPUTADOS BASEADA EM GAMIFICAÇÃO	46
4.1 Descrição	46
4.2 Metodologia de desenvolvimento	48
4.3 Modelagem.....	49
4.3.1 Modelagem do Sistema	50
4.3.2 Modelagem do Software	53
4.3.3 Modelagem da Arquitetura do Sistema	55
4.3.4 Modelagem do Jogo.....	57
4.4 Desenvolvimento da ferramenta	59
4.4.1 Integração Jogo e Nó Sensor	59
4.4.2 Implementação Módulo Fisioterapeutas.....	68
5 TESTES E RESULTADOS	71
5.1 Avaliação de precisão do sistema	71
5.2 Validação do TennisGame Physio e Testes com Pacientes	72
5.3 Avaliação da solução	74
5.3.1 Avaliação do paciente	75
5.3.2 Avaliação dos fisioterapeutas.....	77
5.4 Resultados	78
6 CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICE A – DOCUMENTO DE REQUISITOS DO SISTEMA	86

APÊNDICE B – DOCUMENTO DE CASOS DE USO	92
B.1 Definição dos casos de uso	95
B.2 Representação dos relacionamentos dos casos de uso.....	102
B.3 Casos de uso: nó sensor, usuário e sistema	102
B.3.1 Nó sensor	102
B.3.2 Sistema.....	103
B.3.3 Usuário	104
APÊNDICE C – DOCUMENTO DE PROTOTIPAÇÃO DO SOFTWARE	106
C.1 Prototipação das telas	109
APÊNDICE D – DOCUMENTO DE PLANO DE TESTES.....	116
APÊNDICE E – FLUXOGRAMA DA SOLUÇÃO	131
APÊNDICE F – RELATÓRIO DO PACIENTE GERADO PELA FERRAMENTA DO PACIENTE	133
APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS FISIOTERAPEUTAS	138
APÊNDICE H – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PACIENTES	141

1 INTRODUÇÃO

Os membros superiores e inferiores são um dos principais elementos constituintes do corpo humano. Os membros superiores correspondem principalmente as seguintes articulações: complexo do ombro, cotovelo, antebraço, punho e mão (KAPANDJI, 2000). Além dos membros superiores, os inferiores são de extrema importância para o corpo, já que sua principal funcionalidade é a locomoção. Suas principais articulações são: quadril, joelho, tornozelo e pé (GOUVEIA, 2015). Tendo em vista que os membros são elementos essenciais do corpo humano para atividades triviais como, por exemplo, locomoção, tomar banho, escovar os dentes, se alimentar, praticar atividades físicas entre outras tarefas, podem sofrer problemas. Nos quais, podem ser causados por malformações de membros, acidentes que causem traumas nas articulações, infecções graves, doenças como a diabetes *mellitus* que impossibilita a cicatrização de feridas causando inflamação, trombose entre outros (FERREIRA; SOUZA; CALAZANS, 2017).

Considerando esses cenários, muitas das vezes a única alternativa é a amputação de um dos membros, seja inferior ou superior, pois dado o grau em que se encontra a doença, infecção, traumatismo ou a isquemia no paciente, ela pode acarretar diversos outros problemas, levando até mesmo ao óbito. Desta maneira, a amputação é uma palavra derivada do latim tendo o significado de *ambi* = ao redor de/em torno de e *putatio* = podar/retirar, (REIS; JÚNIOR; CAMPOS, 2012). Em outras palavras, a amputação pode ser definida como a retirada total ou parcial de um membro inferior, ou superior. Por ser um procedimento delicado afeta tanto o psicológico do paciente quanto o físico, dado que ele perderá um membro que, dependendo do procedimento, poderá incapacitá-lo de realizar alguma atividade habitual. Desta forma, profissionais da área da saúde como psicólogos e fisioterapeutas são de suma importância no processo de reabilitação.

A fisioterapia é um processo terapêutico que visa a redução da aflição e, também, o retorno vagarosamente do paciente ao seu cotidiano propiciando uma melhor qualidade de vida para o indivíduo. Segundo Marques e Kondo (1998), existem várias categorias de exercícios terapêuticos usados pela fisioterapia como mobilização passiva e ativa, alongamentos, exercícios isométricos, isotônicos e outros. Há também outra área de conhecimento que possui uma crescente aceitação na área médica, a informática, a qual possui inúmeros estudos e desenvolvimento de soluções que auxiliem os profissionais de saúde.

A informática médica é uma área que possui inúmeras ramificações e que são, em suma, de grande importância para os profissionais de saúde. Há desenvolvimento tanto de tecnologias de apoio a processos de tomada de decisões como soluções de instrumentos/aparelhos que possibilitem uma melhor eficácia em procedimentos médicos, como, por exemplo, a utilização de Realidade Virtual (RV) com a metodologia de gamificação para auxílio no processo de reabilitação física.

Assim como no processo de reabilitação física, existem outras áreas na medicina que a informática é capaz de colaborar com soluções computacionais, tanto no desenvolvimento de soluções visando os profissionais de saúde, quanto no auxílio de pacientes na melhora dos procedimentos médicos. A Realidade Virtual simula ambientes do cotidiano do paciente, afastando o foco da dor e estimulando a evolução do tratamento. A utilização desta metodologia nas sessões de reabilitações proporcionam ao usuário o envolvimento na atividade induzindo a um estado hipnótico. De acordo com Patterson et al. (2010), que realizou um estudo comparando dois grupos de pacientes com lesão causada por acidente automobilístico, nos quais foi avaliada a percepção subjetiva de dor. O grupo que, utilizou realidade virtual durante o tratamento, relatou que a percepção da dor é menor, enquanto que o grupo que não realizou a utilização de realidade virtual expressou que a sensação da dor é maior.

A utilização de metodologias de gamificação para auxiliar os pacientes na reabilitação possui um grande potencial terapêutico. Isso se dá pelo desenvolvimento da área da computação aplicada na construção de soluções que tornem as sessões mais lúdicas. O método de reabilitação utilizando jogos possibilita ao paciente superar desafios para conseguir melhores resultados no jogo, o que conduz a um maior envolvimento cognitivo (GRANDE; GALVÃO; GONDIM, 2011). Desta forma, a maioria das soluções se assemelham a atividades esportivas como basquetebol, golfe, tênis, futebol, entre outros. Por consequência, há a realização de movimentos que impactam positivamente no organismo como o fortalecimento de músculos, a recuperação dos movimentos, estímulo da atividade cerebral, o aumento da capacidade de concentração e equilíbrio. Considerando o exposto anterior, ainda existem lacunas e oportunidades de pesquisa no que tange ao desenvolvimento de soluções computacionais para o auxílio de fisioterapeutas no processo de reabilitação física de amputados.

1.1 Problema de pesquisa

É possível desenvolver uma solução computacional baseada em gamificação utilizando *hardware* e *software*, e que possa auxiliar os profissionais de fisioterapia nas sessões de reabilitação de amputados, de modo a, instigar no paciente que ele atinja o estado de *flow*?

1.2 Objetivos

O presente trabalho visa solucionar o problema de pesquisa de forma satisfatória. Para isso, serão descritos em seguida, os objetivos gerais e específicos para a realização desta solução.

1.2.1 Objetivos gerais

O objetivo é desenvolver o protótipo de uma solução computacional baseada em gamificação, que utilize sensores de baixo custo para a coleta de dados de movimentação do paciente. As informações capturadas serão processadas pelo simulador de partida de tênis de mesa para executar o deslocamento da raquete virtual.

1.2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral foram determinados alguns objetivos específicos, são eles:

- Levantamento do referencial teórico;
- Levantamento de requisitos junto aos profissionais de fisioterapia envolvidos no projeto;
- Estudo das ferramentas que serão utilizadas no desenvolvimento do protótipo;
- Desenvolvimento do projeto com base no estudo bibliográfico e nos requisitos identificados;
- Estudo das possíveis maneiras de implementação da solução;
- Criação do protótipo;

- Testes preliminares do protótipo;
- Definição do público alvo para a realização de testes e validação do protótipo;
- Testes reais com o público alvo e validação da ferramenta junto aos fisioterapeutas;
- Discussão e análise dos resultados obtidos.

1.3 Estrutura do texto

A estrutura do texto se dá através do Capítulo 1 de introdução, o Capítulo 1.1 que descreve o problema de pesquisa e os Capítulos 1.2.1 e 1.2.2 que especificam os objetivos gerais e específicos que foram desenvolvidos durante a construção do problema. Ademais, o Capítulo 2 retrata a metodologia utilizada para atingir os objetivos, além disso, o Capítulo 3 descreve o referencial teórico utilizado como base nos estudos para o desenvolvimento da solução e, também, a elucidação dos trabalhos correlatos, no Capítulo 3.6, que auxiliaram como indicativo para o avanço da pesquisa. Além disso, há o Capítulo 4 que demonstra a prototipação contendo a descrição da proposta, na seção 4.1, as modelagens da solução na seção 4.3, além de como se sucedeu o desenvolvimento da solução descrita na seção 4.4. Ademais, serão demonstrados as avaliações e seus respectivos resultados obtidos, no Capítulo 5 e, também, as conclusões finais do trabalho presentes no Capítulo 6.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A fim de determinar de forma coesa uma sequência de atividades para a execução deste trabalho, foi definida uma metodologia de pesquisa. A metodologia estipulada é utilizada em todas as etapas de desenvolvimento do trabalho, desde a definição do problema de pesquisa. Em vista disso, nesta seção será detalhada a maneira como se sucedeu a metodologia deste trabalho.

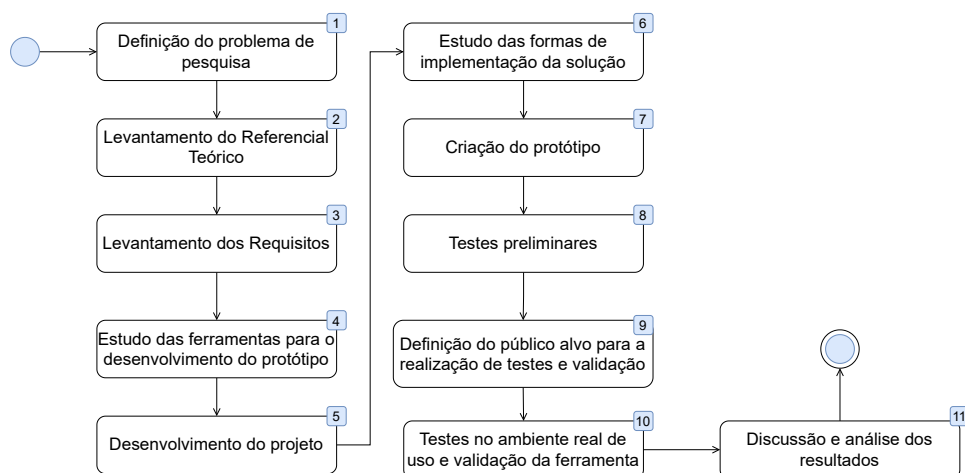
A pesquisa deste trabalho pode ser classificada, do ponto de vista da sua natureza como sendo uma pesquisa aplicada, pois tem por objetivo gerar conhecimentos para aplicá-los na solução de um problema específico (MENEZES, 2001). Além disso, o desenvolvimento e conclusão desta pesquisa irá produzir um produto, neste caso é uma solução computacional em *hardware* e *software* para auxiliar os profissionais de fisioterapia em sessões de amputados de membros superiores e inferiores.

Com relação a abordagem do problema a pesquisa é quantitativa e qualitativa. Visto que as informações capturadas serão transpostas para números, além de ser necessária a utilização de técnicas de estatística para a manipulação desses dados coletados. Do mesmo modo que há aspectos que requerem uma interpretação do fenômeno e a dedução do seu significado (FREITAS, 2013).

Ademais, a pesquisa pode ser classificada, em relação aos objetivos, como sendo do tipo explicativa, dado que utiliza o método experimental, que possibilita a manipulação e o controle das variáveis para identificar fenômenos. Sendo assim, para analisar a razão e o porquê de determinados eventos ocorrerem são realizados o registro, análise, classificação e interpretação dos fenômenos observados (MENEZES, 2001).

De acordo com Freitas (2013), a pesquisa pode ser classificada ainda pelo método de abordagem adotado, que no caso deste trabalho é dito o método hipotético-dedutivo que parte de um problema e elaboradas hipóteses com relação a problemática. Com isso, é deduzido consequências que deverão ser testadas ou falseadas. A pesquisa é dividida em diversos passos, e para o presente trabalho está delimitada na Figura 1 a sequência de etapas da metodologia. Quanto a metodologia de desenvolvimento da solução foi utilizado como base o Modelo em Cascata, pois sua configuração é coincidente com as etapas definidas para o desenvolvimento do *software* e do *hardware* do deferido projeto de pesquisa. Ademais, é uma metodologia de desenvolvimento orientada a planos, onde os requisitos precisam ser bem compreendidos e, pouco provavelmente eles serão modificados no decorrer do desenvolvimento.

Figura 1 – Diagrama de atividades da metodologia.



Fonte: Autora (2021).

A primeira etapa do projeto foi a definição do problema de pesquisa. Esta definição teve como indicador inicial a demanda dos profissionais de fisioterapia do Serviço de Reabilitação Física (SRF) do município de Bagé/RS. Atualmente, existe uma carência nas sessões de reabilitação de amputados por soluções que possam amenizar a dor do membro fantasma e, auxiliar os pacientes a se sentirem motivados durante as sessões. Desta maneira, o presente projeto pretende estudar e formular um sistema que utilize metodologias de gamificação para auxiliar os profissionais fisioterapeutas e, principalmente os pacientes. Após definido o problema de pesquisa, foi realizado o levantamento de referencial teórico para ser usado como base de estudos no desenvolvimento da pesquisa.

Na terceira etapa foi realizado o levantamento de requisitos. Estes requisitos foram identificados pelos fisioterapeutas do Serviço de Reabilitação Física (SRF) através de reuniões de levantamento de requisitos funcionais e não-funcionais. Na etapa seguinte, foi realizado um estudo das ferramentas que foram utilizadas no desenvolvimento do protótipo, partindo da programação e *hardware* até mesmo nas áreas da saúde e fisioterapia. Na quinta etapa, foi realizada a construção da proposta de solução, para isto, foi utilizada toda a base de conhecimento adquirida durante as etapas anteriores, como o levantamento de referencial teórico e requisitos. Após isso, na sexta etapa foi identificadas as possíveis formas de implementação da solução. Esta atividade foi efetuada a partir de estudos e análises de possíveis trabalhos correlatos encontrados durante a etapa de levantamento de referencial teórico.

Na sétima etapa foi desenvolvido o protótipo, cuja proposta foi a utilização dos sensores do *smartphone* com o envio dos dados via comunicação *Bluetooth*. A comunicação é dada entre o aparelho e a placa de prototipação Arduino juntamente com um Módulo *Bluetooth*, a fim de capturar os dados e transmitir para o jogo de modo a movimentar o avatar na simulação da partida de tênis de mesa. Sendo assim, na oitava etapa a fase dos testes preliminares do protótipo foi desenvolvida. Após isto, foram definidos o público alvo que realizou a validação do protótipo. Assim como, na décima etapa foi efetuada a fase de validação da ferramenta com os pacientes escolhidos. Os testes foram realizados no SRF com o acompanhamento dos profissionais fisioterapeutas. Por fim, se sucedeu a análise e discussão dos resultados obtidos durante o desenvolvimento do protótipo. Na qual, foram analisados todos os pontos do projeto, desde os experimentos realizados até a eficiência e desempenho da solução.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão abordados alguns conceitos relevantes acerca dos temas que envolvem o desenvolvimento deste trabalho. Assim sendo, é apresentada uma fundamentação teórica sobre: o que é a amputação de membros, suas principais causas e principais níveis de amputações, reabilitação física de amputados e seus principais estágios. Também serão abordados conceitos sobre informática médica e suas aplicações, o que é gamificação, como ela funciona e quais são seus benefícios, tecnologias aplicadas a reabilitação física de amputados com descrições de microcontroladores, sensores e ferramentas de desenvolvimento e, por fim, um estudo dos trabalhos correlatos.

3.1 Amputação de membros: o que é, causas e níveis de amputações

A amputação consiste em um processo cirúrgico de retirada parcial, ou total, de um membro. É notório que se trata de um procedimento delicado que envolve aspectos físicos e psicológicos, já que é um mecanismo que consiste na remoção de um ou mais ossos. O paciente submetido a tal processo se sente fragilizado em razão de ser um momento de incertezas (GABARRA; CREPALDI, 2009).

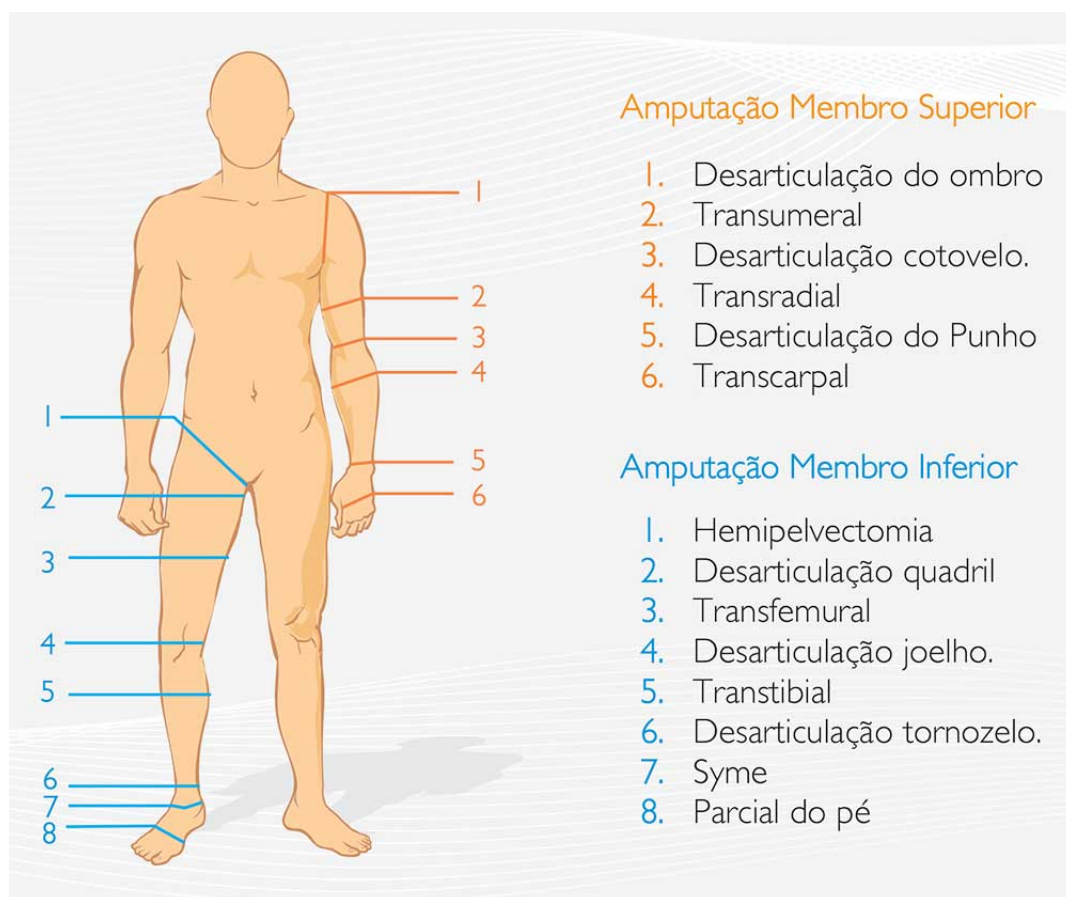
No Brasil, cerca de 94% das amputações realizadas pelo Sistema Único de Saúde (SUS), no ano de 2011, foram de membros inferiores (Ministério da Saúde, 2013). As causas de amputações são originadas de doenças e acidentes, contendo como principais condições causais de estropiar um membro são doenças crônicas, como diabetes e doenças vasculares, tumores benignos e malignos, acidentes traumáticos relacionados a veículos automobilísticos, acidentes de trabalho e assaltos (FITZPATRICK, 1999).

Desta forma, a escolha da realização de tal procedimento pode ser a única solução para as dores sentidas pelo paciente. Tendo como principais objetivos imediatos da amputação: o alívio da dor, a remoção do tecido morto ou infeccionado, a possível cicatrização de uma ferida e a preparação de um coto provisório para a colocação de uma prótese (REIS; JÚNIOR; CAMPOS, 2012).

Os níveis de amputação é a identificação do local onde se é realizada a retirada de um ou mais ossos, ocasionando então a amputação. Ela pode ser realizada em diferentes níveis dependendo da localização da enfermidade, considerando que o comprimento do coto seja o maior tanto quanto possível, a preservação da sensibilidade, e que assegure uma boa cicatrização. O coto é um novo membro, resultante da amputação do paciente (SOUZA, 2015). Geralmente preserva-se o máximo possível para a posterior reabilitação do paciente, com o uso de próteses (WAY; DOHERTY, 2003).

Os principais níveis de amputação de membros inferiores, segundo Ministério da Saúde (2013), são: hemipelvectomia, desarticulação do quadril, transfemural, desarticulação do joelho, transtibial, desarticulação do tornozelo, syme e parcial do pé. Ademais, para os membros superiores os níveis de amputação são: desarticulação do ombro, transumeral, desarticulação do cotovelo, transradial, desarticulação do punho e transcarpiana. A Figura 2 demonstra as posições dos níveis de amputações.

Figura 2 – Identificação dos níveis de amputação.



Fonte: Adaptado de Shopping Ortopédico¹.

¹Disponível em: <<https://shoppingortopedico.com.br/niveis-de-amputacao/>>

3.2 Reabilitação Física de Amputados

O processo de reabilitação física de pacientes amputados envolve diversos estágios englobando desde a pré-amputação, o pós-operatório, pré-protético e estágio protético, que é quando o enfermo recebe uma prótese, além de, após a inserção da prótese há também o processo de monitoramento e acompanhamento de longo prazo do paciente (KOVÁČ et al., 2015). Esse processo é, em suma complexo, já que o amputado necessita receber o auxílio de um profissional para que ele se adapte a um novo instrumento que o auxiliará no retorno as suas atividades cotidianas pré-amputação. No processo de reabilitação é importante que os limites impostos pela amputação sejam aceitos pelo indivíduo e encarados de forma realista (BENEDETTO; FORGIONE; ALVES, 2002).

Além da reabilitação física, é essencial que o paciente tenha um acompanhamento psicológico para que ocorra, também, a reabilitação psicológica e social do mesmo. O procedimento é interdisciplinar exigindo profissionais de diversas áreas da saúde como fisioterapeutas, terapeutas ocupacionais, médicos especialistas em outras áreas como diabetes e cardiovascular (KOVÁČ et al., 2015). A amputação tanto de membro inferior quanto de membro superior, têm como consequências além da imobilidade problemas psicossociais e, de independência física. É primordial para o paciente amputado conceber que a prótese é um mecanismo aliado a sua recuperação, sendo um artefato que substituirá o seu membro ausente.

Nesta etapa de reabilitação o fisioterapeuta desempenha um papel fundamental para a evolução do paciente. Ele auxilia desde o primeiro instante do programa de reabilitação até após a conclusão do processo protético. Sendo assim, a presença do fisioterapeuta é importante no processo dinâmico, criativo, progressivo, educativo e, objetiva a restauração ótima do indivíduo, sua reintegração à família, comunidade e sociedade (SCHWEITZER, 2004).

3.2.1 Estágios da reabilitação física de amputados

O procedimento de reabilitação física de amputados envolve cerca de cinco fases principais que serão descritas a seguir:

1. Pré-amputação ou pré-operatório: é a etapa de preparação psicológica, quando o procedimento é programado, do paciente e seus familiares.

2. Pós-operatório: fase entre o processo de amputação e após a cirurgia. Nesta etapa há o monitoramento da cicatrização da ferida, além disso, pacientes com comorbidades como diabetes, doenças cardiovasculares, ou semelhantes, necessitam de tratamento contínuo de tais enfermidades, tendo em vista que não ocorra complicações pós-cirurgia (KOVÁČ et al., 2015). Além disso, é realizado uma avaliação do potencial do paciente para o uso de uma prótese ou não (LIMA; MEJIA, ca. 2013).
3. Pré-protético: é o estágio de preparação do paciente para o recebimento da prótese, uma vez que já houve a cicatrização por completo da ferida. A reabilitação nesta fase visa a preparação do coto para a aceitação da prótese e, auxilia no condicionamento do paciente (KOVÁČ et al., 2015). A solução computacional, desenvolvida no presente trabalho, visa a sua aplicação em pacientes que estão nesta fase de reabilitação.
4. Estágio protético: é a fase de adaptação do paciente ao seu novo membro. É realizado o acompanhamento do paciente e a entrega do membro de reposição permanente, ou seja, a prótese definitiva (LIMA; MEJIA, ca. 2013). A solução computacional, desenvolvida no presente trabalho, também visa a sua aplicação em pacientes que estão nesta etapa de reabilitação.
5. Processo de monitoramento e acompanhamento de longo prazo: após a alta do centro de reabilitação o paciente realiza a utilização da prótese com maior frequência, em atividades do cotidiano. O paciente continua a ser monitorado em uma frequência menor, cerca de um ano, para a verificação do estado do indivíduo e, possíveis problemas com a prótese (KOVÁČ et al., 2015).

As etapas citadas anteriormente são as principais etapas utilizadas no processo de recuperação de um paciente amputado, desde a fase pré-amputação até o estágio de monitoramento e acompanhamento de longo prazo. É válido destacar que, nem todos os pacientes amputados estão aptos a receber a implantação de próteses no lugar do membro retirado, visto que, é um fator que depende do tamanho e sensibilidades do coto.

Portanto, para que o paciente amputado possua uma excelente recuperação é necessário procurar meios que satisfaçam as necessidades internas e as exigências externas do paciente amputado, reformulando formas de adaptação coerentes com a sua limitação física (BENEDETTO; FORGIONE; ALVES, 2002).

3.3 Informática Médica e suas aplicações

A informática médica é a área de estudo e aplicação de métodos que auxiliam no tratamento de dados, previsão de resultados, na tomada de decisão e ferramentas que auxiliam o âmbito da medicina. De acordo com Greenes e Shortliffe (1990) a informática médica é "o campo que se preocupa com as tarefas cognitivas, de processamento de informações e de comunicação da prática médica, educação e pesquisa".

Há diversas ramificações da informática médica em que se aplicam conhecimento da informática e suas tecnologias para o auxílio de profissionais de saúde como a) bioinformática: que utiliza a informática médica para auxiliar nas pesquisas em biologia molecular; b) *checklist*: é um tipo de ferramenta de controle de decisão clínica utilizado para coletar um ou mais dados do paciente antes, durante e após um encontro; c) ferramenta de decisão clínica: sistema que coleta e processa dados do paciente individualmente para gerar resultados e auxiliar nas decisões clínicas durante o encontro médico-paciente; d) visão computacional: o uso de técnicas computacionais para auxiliar na interpretação de imagens, como mamografias para detecção de tumores e pulmões para detecção da COVID-19 (WYATT; LIU, 2002).

Além disso, a informática médica pode ser aplicada em soluções computacionais que auxiliem os fisioterapeutas nas sessões de pacientes amputados, reabilitação de indivíduos vítimas de acidentes de trânsito, acidentes vasculares cerebrais entre outras doenças que necessitam de diferentes tipos de tratamento através de sessões de fisioterapia.

Ademais, existem outros tipos de tecnologias computacionais como para o monitoramento e a reabilitação de pessoas com doenças crônicas não transmissíveis como os sistemas *eHealth* que estão sendo desenvolvidas para o monitoramento de doenças como a diabetes *mellitus* e a hipertensão arterial. Além disso, há os exergames que são jogos sérios que utilizam sensores de movimento e são capazes de capturar os movimentos naturais do usuário e, assim, promover uma interação física, a partir de um ambiente enriquecido de elementos que motivam a realização do tratamento (MARCHI, 2019).

3.4 Gamificação: o que é, como funciona, e quais são seus benefícios

A gamificação é uma metodologia que elenca mecanismos e técnicas de jogo aplicadas para se atingir um objetivo em uma determinada atividade. Ela pode ser

aplicada em diversas áreas desde o ensino, organização de tarefas e projetos, até sessões de fisioterapias que instiguem o paciente durante o procedimento de reabilitação.

Além do termo gamificação há também o denominado *serious games* que são jogos direcionados para outras finalidades a não ser entretenimento. Há uma linha tênue entre os dois termos, já que os mesmos pretendem que, por meio das suas aplicações, os usuários “sintam” um impulso de fazer uma tarefa que de outro modo não estariam tão atraídos em realizar (DOMINGUES, 2018). Ou seja, o usuário está motivado a realizar a atividade sem necessitar gerar um grande esforço.

Para compreender a razão de um indivíduo modificar seu senso em realizar a atividade quando se é instigado por um jogo é ferramenta de estudo da psicologia no que diz respeito à motivação. Pretende-se compreender o que motiva as pessoas a fazer uma tarefa, a optar por um caminho na sua vida, a buscar algo (DOMINGUES, 2018). A motivação pode ser dividida em dois tipos: intrínseca, que é exercida por meio de uma força interior, normalmente pertence à própria tarefa - ou seja, quando o que leva uma pessoa a cozinhar é o próprio prazer de cozinhar. Por outro lado se a pessoa cozinhar porque precisa comer, a motivação é extrínseca (DECI; RYAN, 2000). A motivação eleva o usuário a realizar diferentes atividades, seja pela recompensa ou pela obrigação de concluí-lá.

Quando o usuário se envolve exclusivamente em uma história de um jogo, ou alguma atividade qualquer, de modo que o induza à imersão, ele se encontra em um estado de *flow*, caracterizado por um sentimento de satisfação e sucesso no decorrer da atividade. Em outras palavras, segundo o psicólogo Csikszentmihalyi (2008), que desenvolveu e definiu a “Teoria do Estado de Fluxo”, com o intuito de descrever o momento em que um indivíduo chega em um estado pleno de satisfação e motivação intrínseca, como se o jogador entrasse em um túnel composto por desafios possíveis de serem atingidos; um fluxo cuja progressão não é interrompida.

Para se atingir o estado de *flow*, segundo Csikszentmihalyi e Selega (1988), são necessárias condições específicas, quando a atenção está totalmente focada em uma atividade, não havendo espaço na consciência para conflitos e contradições, quando os sentimentos, desejos e pensamentos estão completamente alinhados. É mais provável que o *flow* ocorra quando o indivíduo está desempenhando uma atividade que representa um alto nível de desafio e quando ele percebe que suas habilidades são suficientes para superá-lo.

²Disponível em: <<https://blog.caffeinearmy.com.br/coaching/o-que-e-o-estado-de-flow-e-por-que-voce-deve-alcancalo/>>

Figura 3 – Estado de *flow*.

Fonte: Adaptado de Caffeine Army ².

De acordo com Csikszentmihaly (1999) é necessário que os desafios sejam enfrentados num contexto de equilíbrio entre desafios e habilidades do envolvido. O alto comprometimento do indivíduo com uma atividade possui uma alta probabilidade de gerar um estímulo de imersão no estado de *flow*. Ou seja, de envolvimento total com o que se está fazendo, que mantém a mente concentrada a ponto de proporcionar a perda da noção de tempo, sensação de bem estar e alegria (CSIKSZENTMIHALY, 1999), conforme apresenta a Figura 3. Sendo assim, a experiência ótima, de estado de *flow*, ocorre quando desafios e habilidades, estão elevados.

3.5 Tecnologias aplicadas a reabilitação física de amputados

Nesta seção serão descritas as principais características das tecnologias de microcontroladores, sensores e ferramentas de desenvolvimento que serão empregados na solução proposta.

3.5.1 Microcontroladores e single boards

Os microcontroladores estão presentes em diversas soluções tecnológicas como sistemas de automação e de controle. São dispositivos programáveis na sua maioria auto-contidos, ou seja, sistemas embarcados ou embutidos, possuindo um sistema dentro de um chip (FILHO, 2014). A principal peculiaridade dessa tecnologia é que o *hardware* e o *software* estão agrupados em um único chip. Visto que, os microcontroladores são um Circuito Integrado, os quais, além do microprocessador, possuem também componentes internos como memórias de dados e programas, temporizadores, contadores, interface de entrada e saída, etc. Sendo assim, não é necessária a utilização de componentes externos (KERSCHBAUMER, 2018).

A arquitetura de um microcontrolador é apresentada na Figura 4. De acordo com Penido (2013), os microcontroladores possuem internamente os seguintes dispositivos:

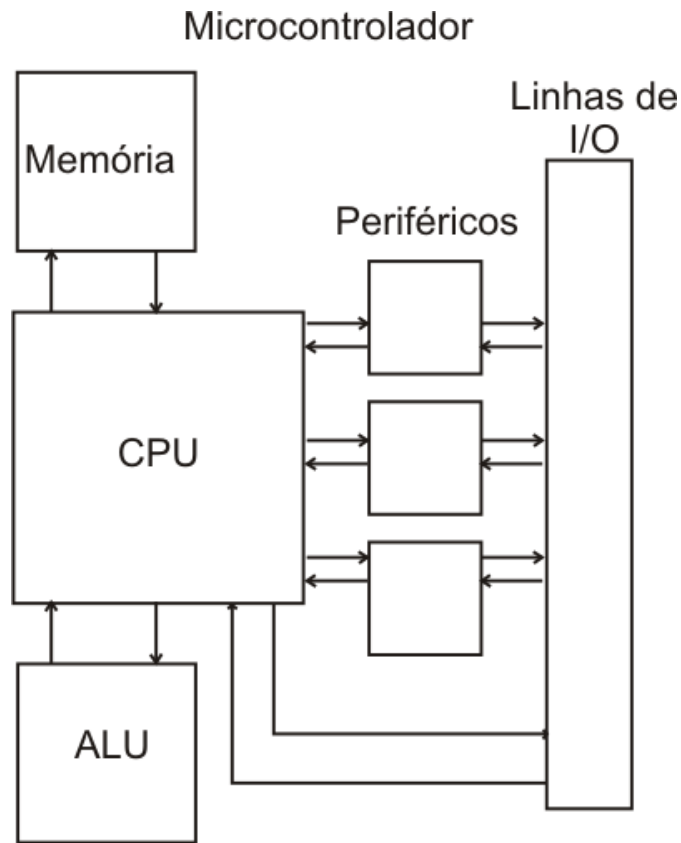
- Uma *Central Processor Unit* (CPU) ou Unidade de Processamento Central, cuja finalidade é interpretar as instruções de programa.
- Memória sendo dividida em PROM (*Programmable Read Only Memory* ou Memória Programável Somente de Leitura), ou memória volátil, na qual são gravadas as instruções do programa e, a memória RAM (*Random Access Memory* ou Memória de Acesso Aleatório), ou memória volátil, utilizada para memorizar as variáveis utilizadas pelo programa.
- Um conjunto de linhas de *input/output* (I/O) para controlar dispositivos externos ou receber impulsos de sensores, interruptores, etc.
- Um conjunto de periféricos que auxiliam no funcionamento, ou seja, gerador de *clock*, contadores, conversor analógico-digital(ADC), etc.

Segundo Filho (2014) o funcionamento dos microcontroladores é dado através do resultado de cada componente que o integra, desta forma, a tarefa que cada elemento exerce é:

- Unidade Lógica e Aritmética (ULA): Realiza todos os cálculos que envolvam registros e ou lógica para tomada de decisões. Ligada e controlada pela CPU.
- Linhas de I/O: As linhas de I/O são responsáveis pela entrada e saída do microcontrolador. Podem coletar dados e atuar em processos através das mesmas.
- Memória: Dividida em Memória de Programa, Memória de dados, Registradores de

³Disponível em: <http://www.arnrobotics.com.br/eletronica/Microcontrolador_PIC_teorias_1.htm>

Figura 4 – Arquitetura Harvard de um microcontrolador genérico.



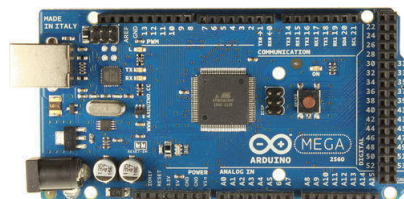
Fonte: Adaptado de Arnerobotics³.

configuração, Registradores Internos, Contador de programa, registro de endereço e de dados, etc. Responsável pelo armazenamento de dados, variáveis e *software* (PENIDO, 2013).

- CPU: Responsável por todo o processamento de dados do Microcontrolador. Interpreta os comandos. Faz a leitura de dados. Ativa as portas de I/O's ou periféricos. Possui conjunto de instruções próprio.
- Periféricos: Permitem maior flexibilidade ao MCU. Exemplos: USART's e ADC's.

A plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre e de placa única Arduino é projetada com um microcontrolador, que utiliza uma Arquitetura Harvard, ou seja, possui memórias e barramentos separados para programa e dados. Na arquitetura dos microcontroladores Atmel AVR, enquanto uma instrução está sendo executada a próxima já é pré-buscada na memória de programa, sendo assim, as instruções são executadas a cada ciclo de clock (ATMEL, 2014). Um exemplo de plataforma de prototipagem Arduino e de um microcontrolador é visto nas figuras 5(a) e 5(b).

Figura 5 – Exemplo de Plataforma de Prototipagem e Microcontrolador.



(a) Arduino Mega.



(b) Microcontrolador ATMEGA 2560.

Fonte: Adaptado de: RobotPark⁴ e VmWare⁵.

De acordo com McRoberts (2011), o Arduino é um pequeno computador que se pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é de fácil utilização e sua linguagem de programação é baseada em Wiring⁶, que é uma linguagem de programação para Microcontroladores baseada em C/C++.

Para evidenciar as principais características da plataforma, será exposto o Arduino Mega 2560, com base em Atmel (2014), portanto, seus principais aspectos são:

- Clock de 16MHz.
- Regulador de 5V e de 3.3V.
- Possui quatro portas seriais: TX0, RX0, TX1, RX1, TX2, RX2, TX3 e RX3.
- Possui uma porta I2C: SDA e SCL.
- Possui uma porta SPI: MOSI, MISO, SCK e SS.
- Contém 16 portas analógicas do conversor ADC.
- Contém 12 portas PWM de 16 bits.
- Contém 32 portas digitais.
- Led indicador de interface serial TX0, RX0.
- Led indicador conectado ao pino D13.
- Memória Flash com capacidade de 256KB.
- Memória EEPROM com capacidade de 4KB.
- Memória RAM com capacidade de 8KB.

⁴Disponível em: <<http://www.robotpark.com/Arduino-MEGA-2560-En>>

⁵Disponível em: <<https://www.piscaled.com.br/circuito-integrado-microcontrolador-atmega2560-16au>>

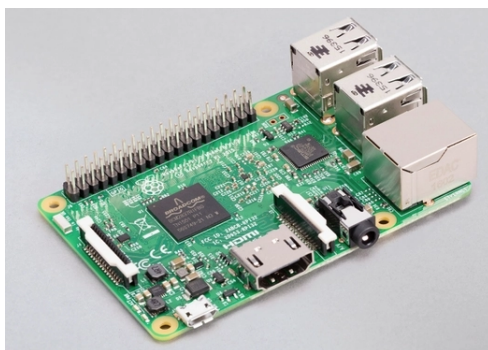
⁶<http://wiring.org.co/>

A Raspberry Pi, diferentemente do Arduino, é uma plataforma que tem a possibilidade de execução de um Sistema Operacional (SO) em uma placa extremamente pequena, além de ser, assim como o Arduino, de código-aberto. De acordo com Monk (2013), o Raspberry Pi é um computador que executa o SO Linux que possui entradas USB que possibilitam a conexão de um teclado e mouse, além de possuir uma saída de vídeo a *High-Definition Multimedia Interface* (HDMI) para realização de transmissão em uma televisão ou monitor. As atividades executadas em um computador podem ser efetuadas na Raspberry, porém, com limitações.

Na Figura 6 há um exemplo de Raspberry Pi 3 Model B que possui as seguintes principais características, baseado em RS Components (2015):

- Processador Broadcom BCM2837 de 1.2GHz 64 bits Quad Core.
- Possui suporte para desenvolvimento nas Linguagens de Programação Scratch e Python.
- Contém quatro portas USB 2.0.
- Entrada MicroSD Card.
- Adaptador Ethernet.
- Entrada HDMI.
- Adaptador Wireless 802.11n.
- Adaptador Bluetooth 4.1.
- Memória RAM com capacidade de 1GB.
- GPU Videocore IV.
- Saída de Áudio.

Figura 6 – Exemplo de Raspberry Pi 3 Model B.



Fonte: Adaptado de Raspberry Pi⁷.

⁷Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>>

Portanto, o Arduino e a Raspberry são ótimas opções para projetos de eletrônica, porém, cada uma das plataformas possui seus diferenciais. Enquanto a Raspberry é uma excelente alternativa para criar soluções embarcadas com alto poder de processamento, visto que sua plataforma suporta a execução de um Sistema Operacional com micro serviços em uma ferramenta que possui um *hardware* que ocupa pouco espaço. Por outro lado, o Arduino não proporciona suporte a Sistema Operacional, porém, há diversos módulos externos que podem ser acoplados a si que possibilita a solução de problemas computacionais, como módulos *Bluetooth*, sensores, entre outros acessórios. Ademais, quando não há a necessidade de um Sistema Operacional e, portanto, se é executado apenas um programa simples com comandos para o gerenciamento de sensores e atuadores, a melhor escolha é a utilização de uma plataforma de prototipação. Desta maneira, ao evidenciar as principais características das tecnologias, é possível realizar a integração das duas plataformas para a utilização de suas peculiaridades em conjunto.

3.5.2 Sensores

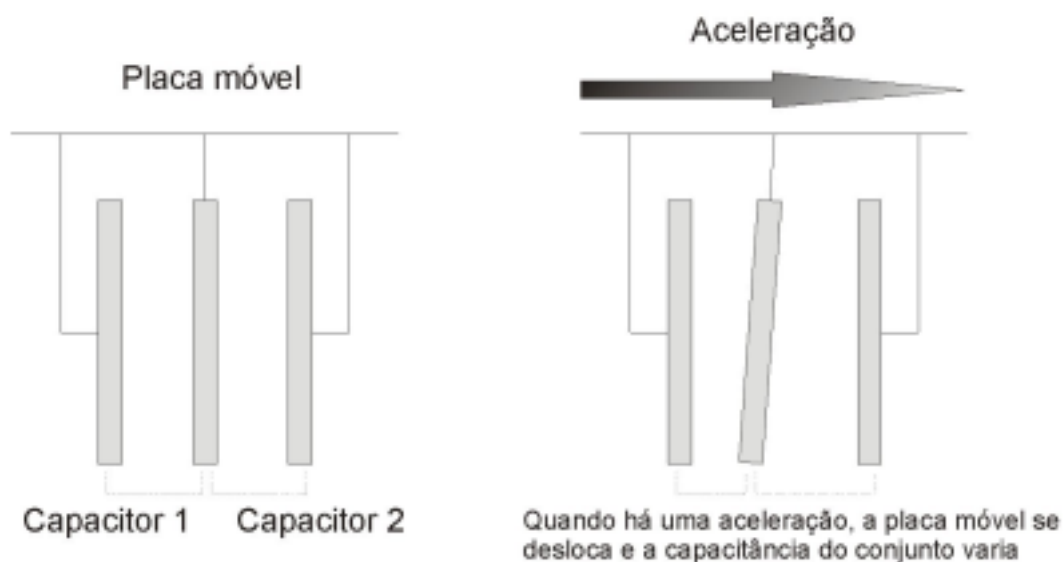
Os sensores são dispositivos que capturam estímulos exteriores e correspondem a eles com alguma determinada ação. Segundo Wendling (2010), os sensores servem para informar um circuito eletrônico a respeito de um evento que ocorra externamente, sobre o qual ele deva atuar, ou a partir do qual ele deva comandar uma determinada ação.

Os sensores podem ser classificados quanto à natureza do tipo de sinal a ser controlado ou identificado em um sistema, podendo ser do tipo discreto ou contínuo. Os sensores discretos ou digitais apresentam dois estados em resposta a ocorrência de um evento, ligado(*High*)/desligado(*Low*), ou ainda, “0” e “1” e, podendo ser uma combinação destes como saída. E, os sensores contínuos ou analógicos são utilizados para monitorar grandezas físicas em um intervalo de valores com limite mínimo e máximo (SEIDEL, 2011).

Em suma, os sensores podem ser aplicados em inúmeras áreas como medicina para detecção dos batimentos cardíacos, em atividades físicas para capturar velocidade e distância, na educação para realizar simulações de queda livre, entre outros âmbitos. Ademais, os sensores presentes nos *smartphones* possibilitaram a dinamização dos aparelhos que se tornaram ferramentas de trabalho para variados tipos de profissionais (SILVA, S/D).

Os acelerômetros são utilizados para calcular a aceleração de um objeto. De outro modo, são amplamente utilizados para determinar tanto a inclinação de um objeto como a sua vibração (RAMÍREZ; JIMÉNEZ; NO, 2014). Existem diversas maneiras de construção de acelerômetros, porém, a maneira mais comum é a monitoração da capacitância, onde são colocadas três placas, formando dois capacitores, sendo que uma dessas placas é móvel. Conforme à aceleração, a distância entre as placas varia, o que altera a capacitância do conjunto (PATSKO, 2006). Na Figura 7 é apresentado como é dado este funcionamento.

Figura 7 – Demonstração do funcionamento dos acelerômetros capacitivos.



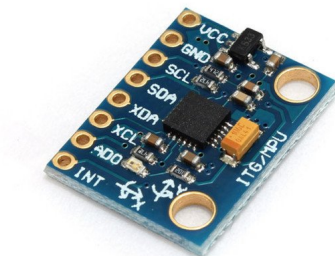
Fonte: Adaptado de Patsko (2006).

Além disso, os acelerômetros capacitivos são conhecidos também como acelerômetros *Micro Electro Mechanical Systems*⁸ (MEMS), pois é empregada a tecnologia sobre os acelerômetros, para que se possa construir dispositivos pequenos e de baixo custo que possibilitem a integração em outros Circuitos Integrados (CI) (PATSKO, 2006). A maioria dos módulos de acelerômetros possuem um outro sensor acoplado, o denominado giroscópio. Ele serve para calcular a rotação de um objeto (RAMÍREZ; JIMÉNEZ; NO, 2014). Tanto o giroscópio quanto o acelerômetro detectam ações tridimensionais, ou seja, nos eixos (x,y,z) . Para exemplificar na Figura 8 está demonstrado um exemplo deste módulo.

⁸Sistemas Microeletromecânicos

⁹Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/acelerometro-e-giroscopio-3-eixos-6-dof-mpu-6050-gy-521>>

Figura 8 – Exemplo de um tipo de acelerômetro e giroscópio de três eixos do tipo MEMS.

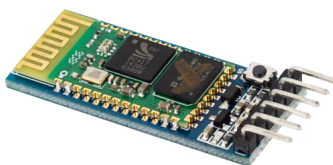


Fonte: Adaptado de EletroGate⁹.

Os *smartphones* utilizam sistemas de localização e posicionamento para os aplicativos instalados em seu sistema operacional. Isso permite medir a aceleração linear e rotacional do aparelho, e a sua posição em relação ao campo gravitacional da Terra (JEREMY et al., 2014).

Além dos acelerômetros e giroscópios, o *Bluetooth* é um módulo que também está inserido nos *smartphones*. Ele possui um padrão de comunicação sem fio de curto alcance, baixo custo e consumo de energia que utiliza tecnologia de rádio.

Figura 9 – Exemplo de um Módulo HC-05.



Fonte: Adaptado de FilipeFlop¹⁰.

Há dois tipos de módulos específicos para comunicação *Bluetooth* para placas de prototipação Arduino, módulo HC-05, apresentado na Figura 9 e, o módulo HC-06. A principal característica em comum é que ambos utilizam a versão 2.0+EDR do *Bluetooth*, e o protocolo de funcionamento dos módulos é o *Serial Port Protocol* (SPP).

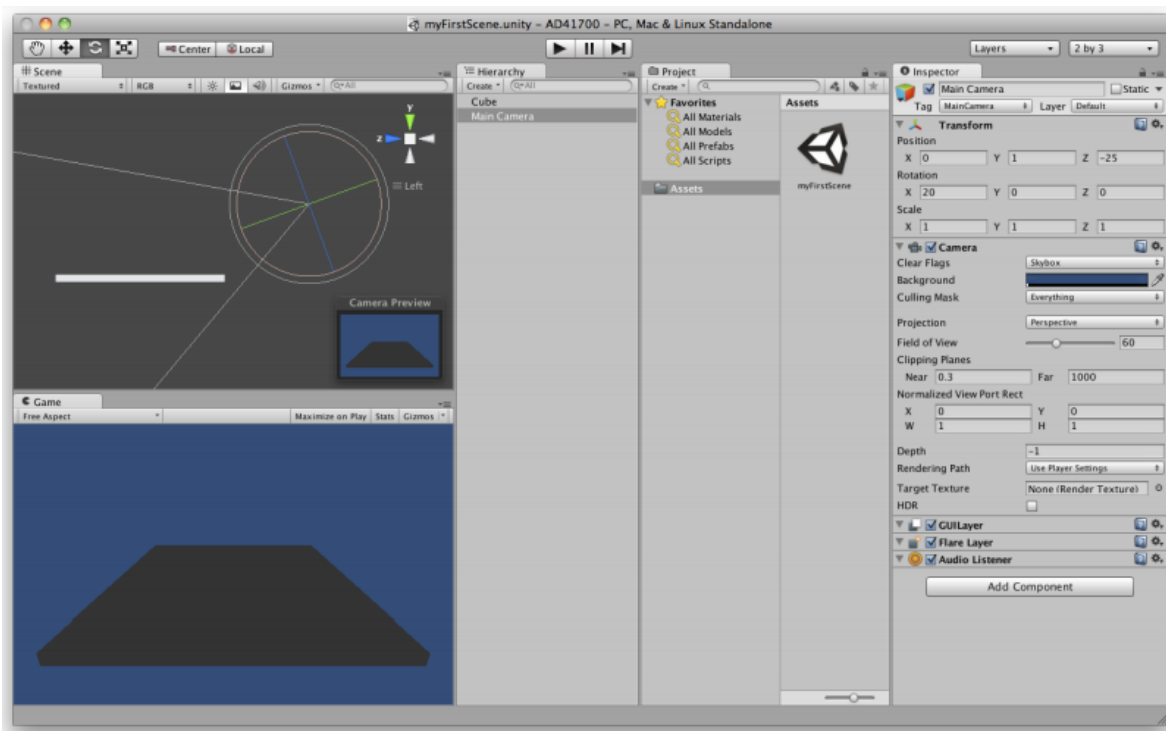
¹⁰Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-bluetooth-rs232-hc-05/>

A principal finalidade do protocolo é a substituição das conexões seriais sem fio (VIDAL, 2017). O diferencial entre eles é que no Módulo HC-05 é possível operar em três modos: modo *master* é quando o módulo pode se conectar a outros dispositivos *Bluetooth*, no modo *slave* o módulo apenas recebe conexões de outros dispositivos e, o modo *loopback* que é quando o módulo recebe informações de um módulo *master* e envia de volta os mesmos dados. Já no Módulo HC-06 há apenas o modo de operação *Slave* (CIA, 2015).

3.5.3 Tecnologias de desenvolvimento

A Unity 3D foi selecionada para a criação do jogo proposto, ela é uma plataforma de desenvolvimento de jogos que possui um ambiente para criação tanto em duas dimensões quanto em três dimensões. Ela possibilita a exportação do jogo para multi-plataformas, ou seja, *desktops*, *web* e dispositivos móveis. Seu ambiente inclui uma “*engine*” para renderização e inserção de física no jogo, também possui a criação de *scripts* baseados na Linguagem de Programação C (WINKLER, 2013). Na Figura 10 está demonstrado como é o ambiente de desenvolvimento.

Figura 10 – *Game Engine* Unity.

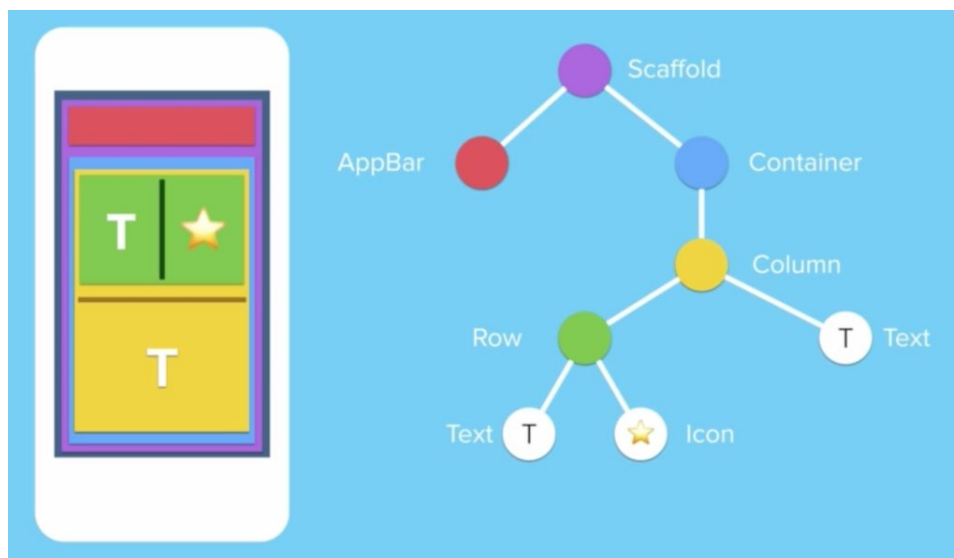


Fonte: Adaptado de Winkler (2013).

O Flutter¹¹ foi escolhido para o desenvolvimento do aplicativo móvel de coleta dos dados dos sensores, ele é um kit de ferramentas de *User Interface* (UI) para a criação de aplicativos de forma nativa para dispositivos móveis, web e *desktop* com a utilização de apenas um código-base. De maneira resumida, o Flutter é um *framework* multi-plataforma. A linguagem de programação base do Flutter é o Dart¹² que utiliza a sintaxe *C-style* como C e JavaScript.

A estrutura do código desenvolvido utilizando Flutter é baseada em *widgets*. Há *widgets* para definir elementos estruturais (botões e menus), criação de *layout*, elementos de estilo (fontes e cores), além de possuir *widgets* de *design* específicos para as plataformas Android (Material Components) e iOS (Cupertino). Ademais, o Flutter foi desenvolvido para facilitar também a criação de novos *widgets* específicos e, personalização dos existentes (CORAZZA, 2018). De forma resumida, toda a estrutura do Flutter é baseada em *widgets* criando, portanto, uma hierarquia. A Figura 11 demonstra um exemplo de hierarquia de *widgets*.

Figura 11 – Demonstração de uma hierarquia de *widgets*.



Fonte: Adaptado de GeekHunter¹³.

¹¹<https://flutter.dev/>

¹²<https://dart.dev/>

¹³Disponível em: <<https://blog.geekhunter.com.br/introducao-ao-flutter-o-framework-do-google/>>

3.6 Trabalhos Correlatos

Nesta seção serão apresentados os trabalhos que se correlacionam com a solução proposta, no qual foram selecionados quatro trabalhos que se assemelham ao objetivo proposto. Além disso, foram elaboradas algumas considerações acerca dos trabalhos em relação a solução computacional proposta neste trabalho.

A metodologia de escolha dos trabalhos correlatos foi desenvolvida com a utilização de *strings*, tanto em português quanto em inglês, as principais *strings* de buscas utilizadas foram: “gamificação nas sessões de fisioterapia”, “*gamification in physical therapy*”, “reabilitação virtual”, “*virtual rehabilitation*”. As palavras-chaves foram utilizadas para pesquisa nas seguintes bases de dados: Google Acadêmico, *Scielo*, *Scopus* e *IEEE*.

Os critérios utilizados para a escolha dos trabalhos foram baseados nas seguintes perguntas, com respostas binárias do tipo sim ou não, “O trabalho escolhido é um jogo que auxilia sessões de fisioterapia de membros superiores e/ou inferiores?”, “Há a utilização de algum tipo de sensor na proposta?” “O trabalho contém imagens e descrições sobre a elaboração da solução?”. Com base nas respostas das perguntas foram listados os trabalhos que se relacionavam com a solução proposta neste trabalho.

3.6.1 Motion Rehab 3D AVE V2

O jogo Motion Rehab AVE 3D desenvolvido por Vergouwen et al. (2020) é um exergame criado com a *Game Engine Unity*, e faz uso de dispositivos para captação de movimentos e visualização em RV para proporcionar uma ferramenta de apoio ao processo de reabilitação convencional. A solução propõe atividades em que o paciente realiza uma série de movimentos considerando objetos e desafios disponíveis em um cenário virtual. O jogo possui seis atividades: exercícios de flexão, abdução, adução do ombro, abdução e adução horizontal do ombro, extensão de cotovelo, extensão de punho, flexão de joelho, flexão e abdução de quadril em um espaço 3D, conforme a Figura 12.

Figura 12 – Níveis de jogo disponíveis no Motion Rehab AVE 3D.



Fonte: Adaptado de Vergouwen et al. (2020).

Os sensores utilizados para a movimentação do personagem no ambiente virtual é o Kinect v2¹⁴, que possui um sensor de profundidade 3D para detecção de movimentos, câmera e microfone, e o dispositivo de visualização e rastreamento Óculos Rift (modelos DK1 e DK2). Além disso, o jogo conta com um modo adicional que possibilita ao profissional de fisioterapia criar um programa de atividades personalizadas a seus pacientes como pode ser observado na Figura 13. Ademais, há a coleta dos dados de desempenho ao longo do processo de reabilitação.

Figura 13 – Interface de configuração de atividades do Motion Rehab AVE 3D.



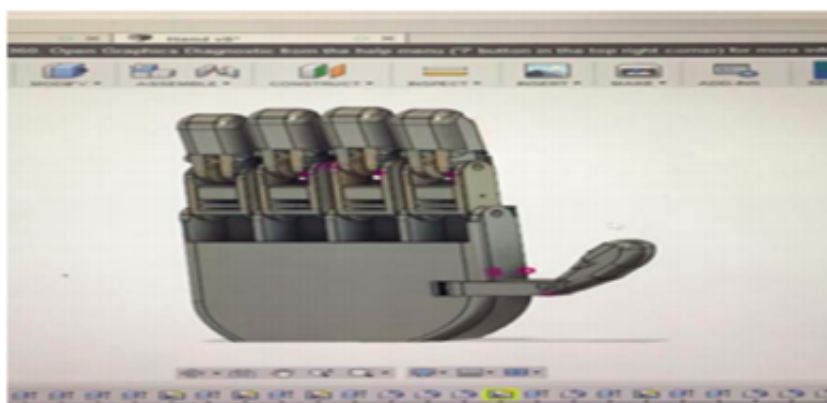
Fonte: Adaptado de Vergouwen et al. (2020).

¹⁴<https://canaltech.com.br/games/Como-funciona-o-Kinect/>

3.6.2 Uso de Realidade Virtual e Jogo Séri0 para Condicionamento e Impressão 3D de Próteses de Baixo Custo

Neste trabalho, os autores Cavalcante et al. (2017), realizam a construção da modelagem 3D de uma prótese capaz de substituir uma mão. Após esta modelagem, há o desenvolvimento de um *Serious Game*, em que o usuário tem como objetivo aprender a utilizar a prótese modelada através de uma série de tarefas no ambiente virtual que fará parte do processo de reabilitação dos pacientes que vão obter uma nova prótese. A modelagem da prótese é demonstrada na Figura 14.

Figura 14 – Modelagem 3D de uma prótese de mão.

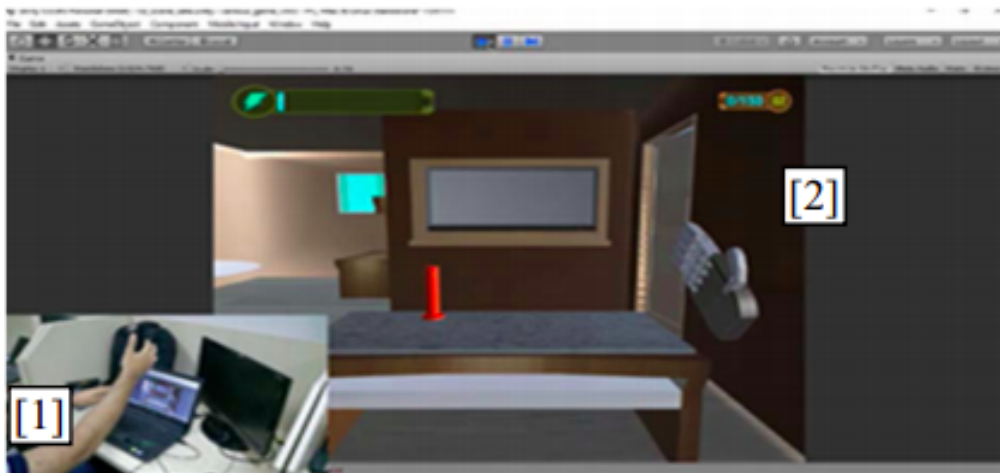


Fonte: Adaptado de Cavalcante et al. (2017).

O ambiente virtual do jogo foi desenvolvido utilizando a *Unity 3D* e tem por finalidade inserir o usuário em universo semelhante à sua realidade, portanto, o jogador será situado em uma casa virtual que possui cômodos como: sala de estar, escritório e cozinha. O ambiente virtual é exposto na Figura 15, onde para cada um dos ambientes o usuário deve realizar uma série de tarefas e, ao fim de cada tarefa, ele receberá uma pontuação, mesmo que o objetivo por completo da atividade seja alcançado, ele irá receber uma pontuação de tentativa, procurando motivá-lo a tentar novamente. Para controlar a prótese 3D dentro da RV são capturados os movimentos do jogador através do dispositivo Leap Motion¹⁵ que é um sensor específico para a captura dos movimentos das mãos, para tal possui câmeras e infravermelho para detecção das mudanças. Este trabalho tem como foco a reabilitação de amputados de membros superiores, assim como, auxiliar na preparação do paciente para posterior prototipação, e além disso, o jogo conta apenas com uma contabilidade de pontuação não havendo um histórico de jogo.

¹⁵<https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2014/05/o-que-e-leap-motion.html>

Figura 15 – Demonstração da execução do jogo com a utilização do Leap Motion.

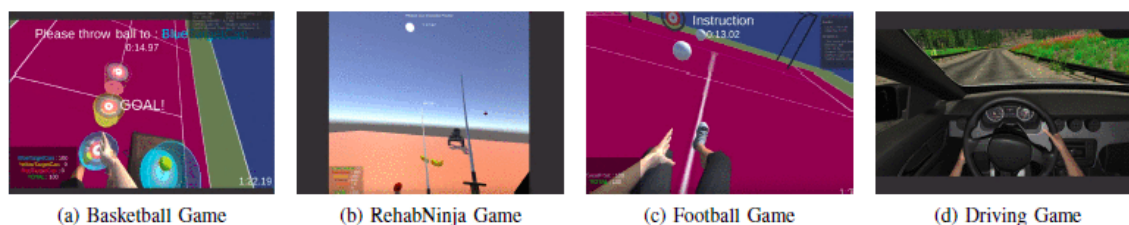


Fonte: Adaptado de Cavalcante et al. (2017).

3.6.3 Jogos Imersivos de Realidade Virtual para reabilitação da dor do membro fantasma

O trabalho desenvolvido por Akbulut et al. (2019) objetiva criar *serious games* para auxiliar na melhora das dores fantasma que acobertam pacientes amputados. Para isso, é utilizado um sensor *sEMG*¹⁶ para a coleta de dados, este tem por finalidade medir a atividade dos músculos tanto em repouso quanto em movimento, e também o sensor Kinect, além da utilização de Óculos Rift. Desta maneira, o jogo é sub-divido em quatro mini-jogos desenvolvidos utilizando *Unity 3D*, onde o paciente pode escolher qual deseja jogar: *Basketball Game*, *Rehab Ninja*, *Football Game* e *Driving Game*. Cada um dos jogos possui funcionalidades diferentes, conforme demonstrado na Figura 16.

Figura 16 – Captura de tela dos jogos.



Fonte: Adaptado de Akbulut et al. (2019).

¹⁶<https://www.cooking-hacks.com/electromyography-sensor-emg.html>

O *Basketball Game* foi desenvolvido para que o membro fantasma se mova em um ambiente virtual e reduza a dor fantasma. Este tipo de jogo é designado para indivíduos que perderam membros após as desarticulações do punho e amputação radial. O objetivo do jogo é instigar o paciente a agarrar a bola com a mão virtual e jogá-la nas cestas corretamente. Para o *Rehab Ninja*, o objetivo do amputado é cortar as frutas, que aparecem no monitor, movendo o braço virtual. Os pacientes levantam duas facas para cortar as frutas. O que se espera é que o movimento da articulação fantasma forneça ativação muscular no músculo bíceps braquial. Já no jogo *Football Game* sua finalidade é reduzir a dor na perna perdida após desarticulação do joelho e amputação transfemoral. O objetivo do paciente é realizar gols ao movimentar a bola com a perna e pé virtual. E, por fim, *Driving Game* que foi desenvolvido com o intuito de reduzir a dor fantasma no membro ausente após a desarticulação do tornozelo e amputação transtibial. O paciente realiza movimentos do pé virtual para controlar o acelerador ou freio do carro virtual.

3.6.4 Prosthetic Rehabilitation Training in Virtual Reality

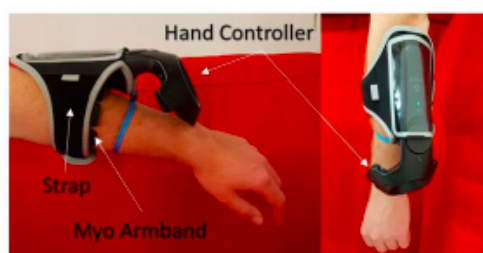
Neste trabalho, Dhawan, Barlow e Lakshika (2019) desenvolveram uma solução computacional que permitisse aos pacientes amputados vivenciar o uso de uma prótese de mão em um ambiente virtual imersivo. O sistema foi projetado para que os pacientes de amputação transradial pudessem ter a experiência de como é controlar uma prótese mioelétrica, conforme demonstra a Figura 17.

Figura 17 – Exemplo de uma prótese mioelétrica.



Para simular a prótese, os autores utilizaram a braçadeira de controle de gestos Myo utilizada para capturar os movimentos e integrada a um jogo desenvolvido em *Unity 3D*, além da utilização do óculos de Realidade Virtual HTC Vive para imersão no ambiente, dispostos conforme a Figura 18. A solução empregou a abordagem *Serious Games 4 Health(SG4H)*. O objetivo principal da solução é integrar a motivação do jogador para um resultado, ou seja, completar a tarefa o mais rápido possível na atividade de aprendizagem. Além disso, também auxiliar na reabilitação e treinamento do paciente para a protetização de um braço mecânico.

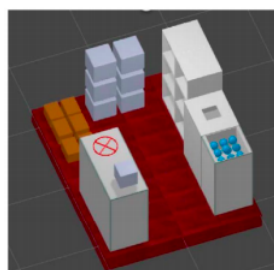
Figura 18 – Posicionamento do Sensor Myo.



Fonte: Adaptado de Dhawan, Barlow e Lakshika (2019).

O cenário do jogo é uma sala com quatro setores: *Free play area*, *Balls*, *Box Shelving* e *Brick Stacking*. Cada uma das áreas foi disposta no sentido anti-horário com a dificuldade incremental. Na estação *Free play area* há uma mesa com uma caixa sobre e o usuário tem como objetivo praticar o “pegar e soltar”. Em *Balls* a finalidade é transferir as bolas de um balde, que está cheio, para outro balde. Para a estação *Box Shelving* o paciente deve “pegar” uma caixa por vez e empilhar em uma prateleira. E por fim, a estação *Brick Stacking* é composta por um grupo de oito tijolos em que o paciente precisa empilhar, um em cima do outro. A cena do jogo é apresentada na Figura 19.

Figura 19 – Cena desenvolvida para experimentação do ambiente virtual.



Fonte: Adaptado de Dhawan, Barlow e Lakshika (2019).

¹⁷<https://www.ortosan.com.br/produtos/protese-mioelettrica/28>

3.6.5 Análise comparativa

Nesta seção serão confrontados os trabalhos correlatos descritos anteriormente com a solução proposta pelo presente trabalho. Deste modo, serão considerados os seguintes aspectos:

- Aplicabilidade: para quais tipos de pacientes a solução é apropriada: membros superiores ou inferiores?
- Desafio: o usuário é instigado e motivado durante a jogabilidade, possuindo evolução na dificuldade.
- *Feedback*: há um retorno visual e sonoro do progresso do jogador.
- Ferramentas de desenvolvimento: qual ferramenta foi utilizada para desenvolver os gráficos da solução.
- Tecnologias utilizadas para coleta de dados: que tipos de sensores são utilizados para capturar os dados.

Para comparar os trabalhos pesquisados, foi construída a Tabela 1 que descreve os fatores de aplicabilidade e desafio, que retrata se os trabalhos possuem mecanismos que instigam e motivam os pacientes e, na Tabela 2, serão detalhados os aspectos de *feedback*, ferramentas de desenvolvimento e sensores, comparando com a solução proposta neste trabalho.

Tabela 1 – Tabela de comparação dos fatores de aplicabilidade e usabilidade dos trabalhos correlatos e da solução proposta

Autores	Aplicabilidade	Desafio
(VERGOUWEN et al., 2020)	Membros Superiores e Inferiores	Sim
(CAVALCANTE et al., 2017)	Membro Superior	Sim
(Akbulut et al., 2019)	Membros Superiores e Inferiores	Sim
(DHAWAN; BARLOW; LAKSHIKA, 2019)	Membro Superior	Sim
Solução Proposta	Membros Superiores e Inferiores	Sim

Fonte: Autora (2021)

Dessa maneira, é perceptível através da interpretação da tabela que todos os trabalhos correlatos possuem aspectos compartilhados como: todos possuem evolução da dificuldade no decorrer do jogo, além de efeitos sonoros e de imagem do progresso no jogo, ademais, foram desenvolvidos utilizando a *Game Engine Unity 3D*.

Tabela 2 – Tabela de comparação dos fatores de *feedback*, ferramenta de desenvolvimento e sensores dos trabalhos correlatos e da solução proposta

Autores	<i>Feedback</i>	Ferramenta de desenvolvimento	Sensores
(VERGOUWEN et al., 2020)	Sim	Game Engine Unity 3D	Kinect v2 e Óculos Rift(modelos DK1 e DK2)
(CAVALCANTE et al., 2017)	Sim	Game Engine Unity 3D	Leap Motion
(Akbulut et al., 2019)	Sim	Game Engine Unity 3D	sEMG, Kinect e Oculus Rift
(DHAWAN; BARLOW; LAKSHIKA, 2019)	Sim	Game Engine Unity 3D	Myo e HTC Vive
Solução Proposta	Sim	Game Engine Unity 3D e Flutter	Acelerômetro e Giroscópio do <i>Smartphone</i>

Fonte: Autora (2021)

Um aspecto importante a se verificar é a utilização, por Vergouwen et al. (2020) e Akbulut et al. (2019), do sensor Kinect e dos óculos Rift. O sensor captura movimentação através de imagens e os óculos servem para imergir no jogo através de RV. Desta maneira, o principal aspecto que diverge os trabalhos correlatos da solução proposta neste trabalho é que o mesmo utiliza sensores disponíveis no *smartphone*.

4 PROPOSTA DE SOLUÇÃO NO APOIO DE SESSÕES DE FISIOTERAPIA PARA AMPUTADOS BASEADA EM GAMIFICAÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os conceitos que envolvem a idealização, construção e o desenvolvimento do projeto. Desta maneira, serão retratados os seguintes itens: a descrição do projeto, a metodologia utilizada para o desenvolvimento, a modelagem do sistema, software, arquitetura e do jogo. Além disso, será descrito como se sucedeu o desenvolvimento da solução.

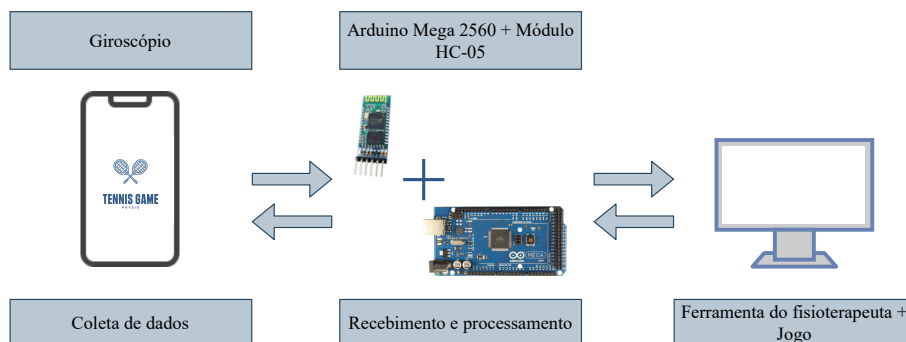
4.1 Descrição

A proposta deste trabalho foi desenvolvida a partir da demanda do Serviço de Reabilitação Física de Bagé/RS, que possui um déficit de ferramentas de apoio nas sessões de amputados de membros superiores e inferiores para os profissionais fisioterapeutas. Dessa maneira, a finalidade desta solução foi a elaboração do protótipo de um sistema em *hardware* e *software* que utiliza metodologias de gamificação.

Sendo assim, foi desenvolvido um jogo que simula uma partida de tênis de mesa com o objetivo, tanto de colaborar com os fisioterapeutas nas sessões de reabilitação como instigar no paciente que ele alcance o estado de *flow* durante a sessão. Esta condição estimula o principal objetivo da prática que é a movimentação correta dos membros de modo a ir vencendo a cada partida, diminuindo a dor e sofrimento podendo torná-la imperceptível. A solução pode ser utilizada tanto na etapa pré-protética, a qual visa a preparação do coto do paciente para o recebimento da prótese, como na etapa protética, sendo a fase de adaptação do paciente ao seu novo membro.

A ideia conceitual da solução consta na Figura 20, onde demonstra, de maneira geral, como é a arquitetura do sistema. Desta forma, a solução funciona da seguinte maneira: primeiramente, são coletados os dados físicos do paciente através do profissional fisioterapeuta para que se possa ter informações anteriores à sessão e conflitar com os dados posteriores; após, é realizada a conexão *Bluetooth* entre *smartphone* e placa de prototipação Arduino, através do módulo HC-05 para executar a coleta dos dados de movimentação, do braço ou coto, do paciente. Ao efetivar a comunicação *Bluetooth*, o *smartphone* deve ser posicionado junto ao paciente utilizando uma braçadeira para, portanto, inicializar a sessão.

Figura 20 – Ideia conceitual.



Fonte: Autora (2021).

Após finalizar as etapas de estabelecimento da conexão e realizar o posicionamento do sensor, é dado o início ao estágio de calibração do sensor. Esta etapa é essencial para que seja possível averiguar quais são os valores máximos de mobilidade do paciente, tanto para a direita, quanto para a esquerda. Portanto, ao concluir a calibragem, o profissional fisioterapeuta pode configurar uma partida de tênis de mesa para o paciente, os modos de jogo são: demo, que é uma partida para o paciente se adaptar ao movimento da raquete; por tempo, que o fisioterapeuta pode configurar quantos minutos ele almeja que o paciente jogue; e, por modos de dificuldade, sendo, fácil, médio e difícil.

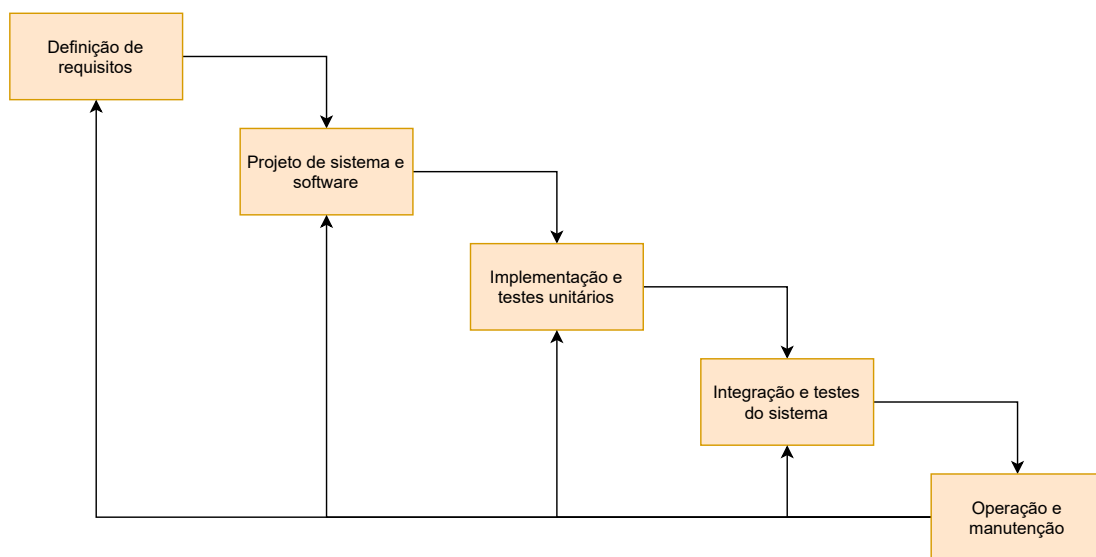
As informações coletadas antes, durante e após a dinâmica são salvas em arquivo de log que, posteriormente, é processado e salvo no banco de dados local no computador. De forma resumida, a solução proposta tem por finalidade auxiliar profissionais de fisioterapia em sessões de pacientes amputados de membro superior quanto inferior que estão, tanto na fase de pré-protetização, quanto na etapa protética. Desta maneira, utiliza-se mecanismos de gamificação no desenvolvimento da solução elaborando, portanto, a simulação de uma partida de tênis onde a coleta dos dados é efetuada através de um *smartphone* e há o encaminhamento dos movimentos capturados através de uma comunicação *Bluetooth* do módulo HC-05 que está conectado a plataforma de prototipagem Arduino. O jogo desenvolvido na plataforma de desenvolvimento *Unity 3D* se comunica com o Arduino através de comunicação serial, recebendo os valores de movimentos da raquete virtual capturados pelo *Smartphone*.

4.2 Metodologia de desenvolvimento

Como metodologia de desenvolvimento desta pesquisa, optou-se pela utilização, como modelo de processo de desenvolvimento de *software*, do modelo em cascata. Sua abordagem é dirigida a planos, logo, há um planejamento e programação de todas as atividades do processo antes de iniciar seu trabalho. Esta metodologia é utilizada quando os requisitos são bem compreendidos e é pouco provável que eles venham a ser modificados radicalmente durante o desenvolvimento do sistema (SOMMERVILLE, 2011).

Neste modelo, são fundamentais as atividades de processo de especificação, desenvolvimento, validação e evolução, portanto, cada um dos processos é designado como uma fase distinta, sendo da seguinte maneira: especificação de requisitos, projeto de *software*, implementação, testes e manutenção. O fluxo do modelo é representado na Figura 21.

Figura 21 – Representação do Modelo em Cascata.



Fonte: Adaptado de Sommerville (2011).

Desta maneira, para compreender como se dá cada um dos estágios do modelo, com base no Sommerville (2011), tem-se que:

1. Análise e definição de requisitos: o levantamento dos serviços, metas e funcionalidades do sistema são levantadas através de consulta aos usuários. Sendo assim, o projetista detalha essas informações e gera uma especificação do sistema.
2. Projeto de sistema e *software*: aloca os requisitos tanto para sistemas de *hardware*

quanto para sistemas de *software*, definindo uma arquitetura geral do sistema.

3. Implementação e testes unitários: o projeto do *software* é desenvolvido como unidades e o teste unitário envolve a verificação de que se cada unidade atende a sua especificação.
4. Integração e testes do sistema: integração das unidades desenvolvidas e testes do sistema completo para assegurar que os requisitos do *software* foram atingidos. Após os testes, o sistema de *software* é entregue ao cliente.
5. Operação e manutenção: o sistema é colocado em uso, e a manutenção envolve a correção dos erros que não foram corrigidos durante os estágios iniciais de desenvolvimento. Há uma melhoria na implementação das unidades do sistema e modificações nos serviços elencando, assim, novos requisitos.

Portanto, a escolha desta metodologia de desenvolvimento se dá pelo fato de que a presente pesquisa se assemelha em diversos aspectos com o modelo em cascata. Os requisitos elencados para o desenvolvimento da solução são compreendidos de forma clara e objetiva, ademais as etapas de desenvolvimento são metódicas, visto que há uma série de estágios a serem evoluídas no decorrer da solução. Entretanto, a utilização desta metodologia serve apenas como uma base para o desenvolvimento da pesquisa, podendo ser adaptada em alguns aspectos para se adequar a maneira da elaboração da presente solução.

4.3 Modelagem

Para uma melhor compreensão do sistema desenvolvido, nesta seção serão apresentadas as técnicas e modelos de engenharia de *software* utilizadas durante o processo de desenvolvimento da solução. Primeiramente, será descrita a modelagem do sistema elencando os requisitos funcionais e não funcionais do sistema e após, serão abordados os diagramas de modelagem do sistema utilizados no projeto. Ademais, será descrita a modelagem do *software* e da arquitetura do sistema e, além disso, como se sucedeu a modelagem do jogo.

4.3.1 Modelagem do Sistema

Com base no Modelo em Cascata descrito anteriormente, a primeira etapa de desenvolvimento realizada foi a análise e definição dos requisitos. Para isso, houve uma entrevista com um fisioterapeuta do Serviço de Reabilitação Física (SRF) do município de Bagé/RS. A maneira com que se sucedeu a coleta dos requisitos foi através de uma entrevista aberta, na qual, não existe uma lista de perguntas pré-definidas. Sendo assim, esta primeira fase do desenvolvimento resultou no Apêndice A que é o Documento de Requisitos da solução. Neste documento, pode ser averiguado quais são as necessidades do *software*.

Baseado na definição dos requisitos funcionais e não funcionais, foi realizada uma análise das informações capturadas e, a partir disso, para realizar o planejamento do protótipo do aplicativo e também do jogo, houve a criação dos diagramas de casos de uso. Para a elaboração dos diagramas foi utilizado o *Unified Modeling Language* (UML¹), que em português é a Linguagem de Modelagem Unificada. Sendo assim, há um Documento de Casos de Uso descrito no Apêndice B.

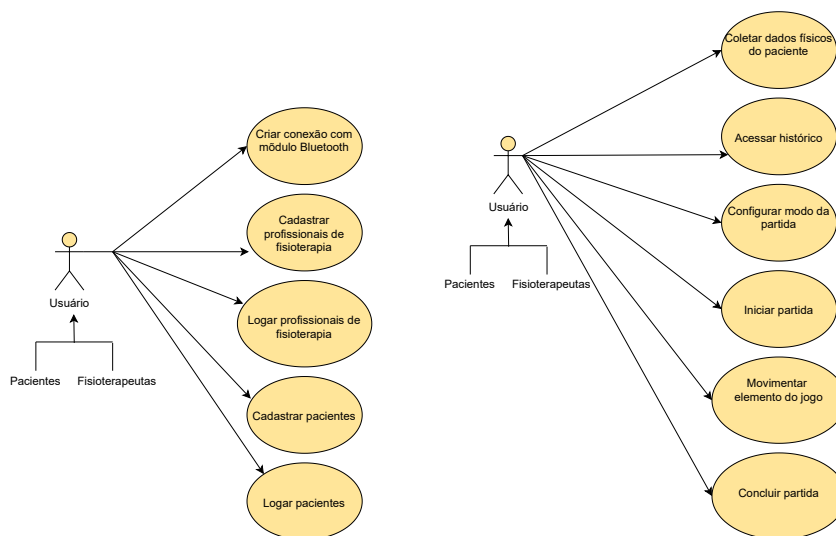
Desta maneira, para demonstrar os diagramas de casos de uso com uma visão mais ampla das ações, os atores foram divididos, portanto, serão apresentados três casos de uso onde os atores são: nó sensor que compreende o *smartphone*, a plataforma de prototipação Arduino e o Módulo *Bluetooth*, o usuário que engloba o paciente e o fisioterapeuta e, também o sistema que é o jogo desenvolvido em Unity 3D para ser executado em um *desktop*.

Sendo assim, para exemplificar os diagramas de casos de uso, nas Figuras 22(a) e 22(b) são demonstradas as ações do principal ator da solução, o usuário, ou seja, o fisioterapeuta ou o paciente. Deste modo, pode se observar que o usuário possui diversas atuações possíveis, sendo elas: criação de conexão com módulo *Bluetooth*, cadastrar profissionais de fisioterapia, logar profissionais de fisioterapia, cadastrar pacientes, logar pacientes, coletar dados físicos do paciente, acessar histórico dos pacientes, configurar modo da partida, iniciar partida, movimentar elementos do jogo e, por fim, concluir partida.

Além da criação dos diagramas de casos de uso, na Figura 23 foi elaborado também um diagrama de classe conceitual do sistema, abrangendo todos os elementos envolvidos durante a elaboração da solução. Desta maneira, é possível analisar todas

¹<https://www.uml.org/>

Figura 22 – Diagramas de casos de uso do usuário.



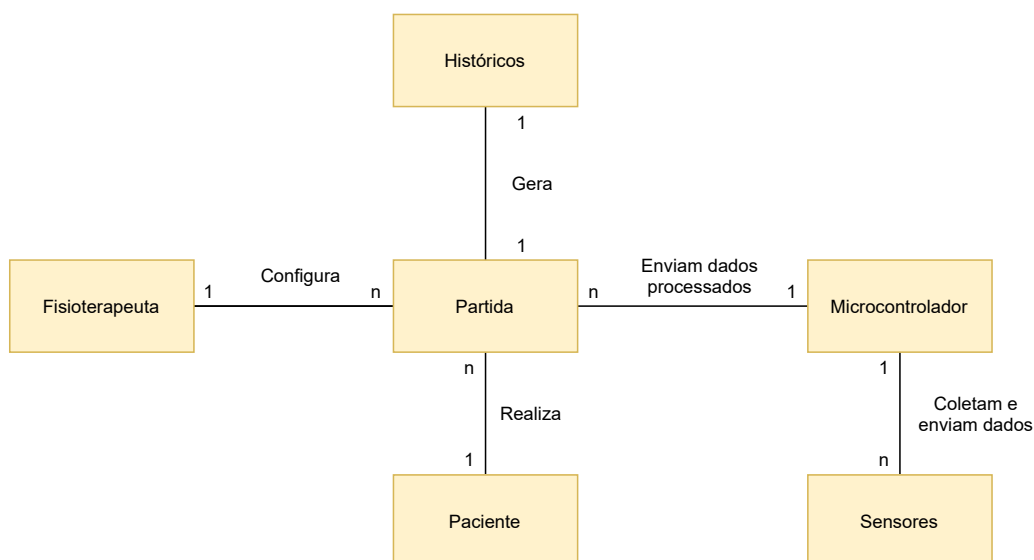
(a) Primeiro diagrama de casos de uso do usuário.

(b) Segundo diagrama de casos de uso do usuário.

Fonte: Autora (2021).

as etapas do funcionamento da ferramenta, desde a configuração da partida por parte do fisioterapeuta e, até mesmo a relação do paciente com a partida. Vale ressaltar que o diagrama é apenas uma concepção das relações das entidades do sistema.

Figura 23 – Diagrama de classe conceitual.

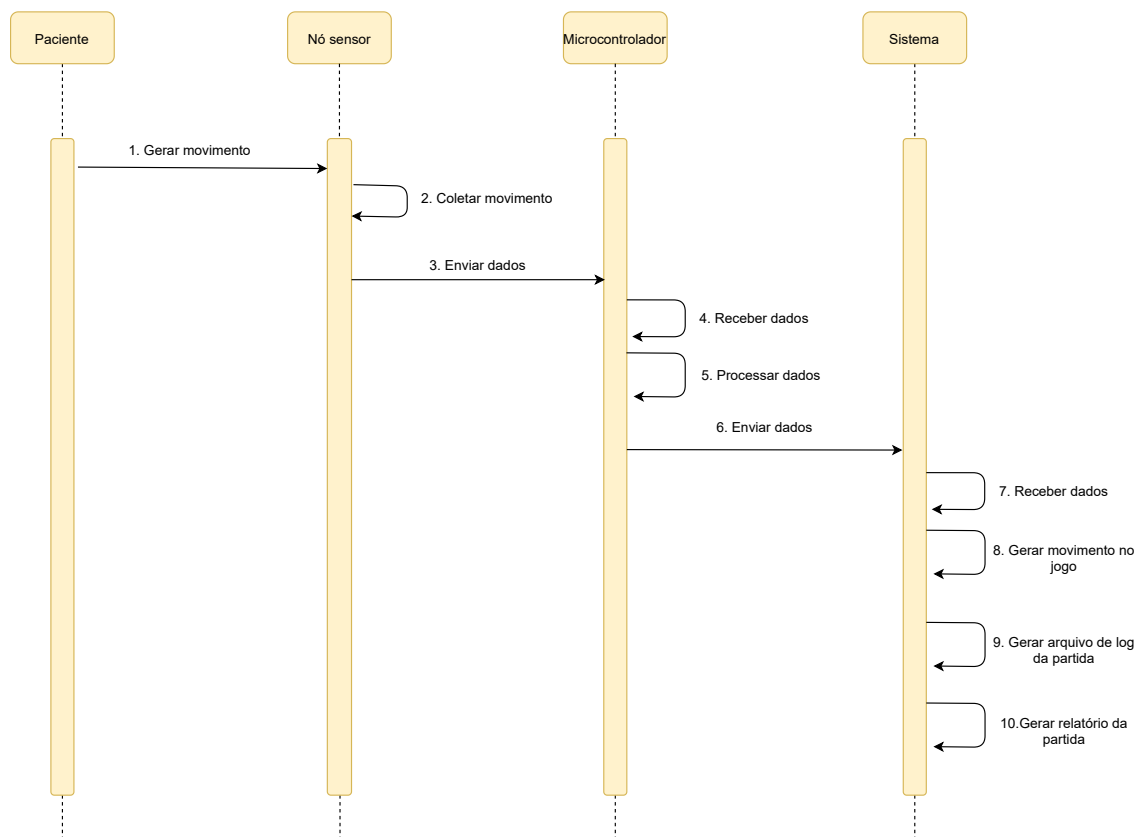


Fonte: Autora (2021).

Com a conclusão das criações dos diagramas de casos de uso e de classe conceitual, houve também a elaboração do diagrama de sequência. O diagrama tem como finalidade representar as ações do sistema, tendo início com o paciente gerando movimentos que são capturados pelo nó sensor, o Arduino que recebe e processa os valores e reencaminha para o sistema. Os dados recebidos pelo *software* são processados e geram a movimentação do avatar no jogo. Por fim, ao final da partida é gerado o arquivo de *log* da sessão e o relatório. A representação do diagrama de sequência descrito está na Figura 24.

Portanto, para concluir a modelagem do sistema, também foi desenvolvido um fluxograma da solução que pode ser verificado no Apêndice E que demonstra todas as ações possíveis a serem tomadas na solução. Sendo assim, a etapa de modelagem do sistema descrita através da captura e análise dos requisitos, criação dos diagramas de casos de uso, conceitual e de sequência são artefatos de suma importância no decorrer do desenvolvimento da solução. Logo, nas próximas seções, serão demonstradas a modelagem do *software* e da arquitetura do sistema.

Figura 24 – Diagrama de sequência do sistema.



Fonte: Autora (2021).

4.3.2 Modelagem do Software

Com o intuito de encontrar a solução de implementação para o problema de pesquisa foi denotado que se aplicaria metodologias de gamificação em sessões de amputados de membros superiores e inferiores nas etapas de reabilitação nas fases pré-protetização e protética.

Sendo assim, a autora delimitou junto ao profissional de fisioterapia alguns aspectos que esse processo de gamificação precisaria cumprir: o *software* deve ser de fácil acesso, não é preciso a solicitação de senha para *login* de fisioterapeutas, o programa deve ter a coleta dos dados físicos do paciente para posteriormente haver uma comparação e, por fim, todas as partidas precisam guardar um histórico para que se possa gerar um relatório de desempenho individual de cada paciente.

Portanto, foi definido que o *software* seria uma ferramenta de auxílio ao fisioterapeuta para realizar o rastreio da evolução do paciente na plataforma, integrado juntamente com o simulador de partida de tênis. Por conseguinte, foi estabelecida a utilização da *Game Engine Unity 3D* por ser uma ferramenta de desenvolvimento familiar a desenvolvedora. Também, como linguagem de programação será utilizado C#, visto que é a linguagem compatível com a plataforma de desenvolvimento. Assim, inicialmente foi criado um protótipo de telas da possível solução para exemplificar como se sucederia o fluxo do *software*, para isso foi utilizada a plataforma Figma² que é uma ferramenta de *design* de interfaces.

Para a prototipação das telas iniciais é criado um Documento de Prototipação do *software* no Apêndice C que possui a representação inicial de cada uma das telas do programa, com exceção da partida de tênis e a tela de relatórios. Para esta etapa de desenvolvimento foi tomado como base a Primeira Lei da Usabilidade descrita por Krug (2008) como “Não me faça pensar”, na qual, denota que o *layout* de um *software* precisa ser auto-explicativo. A maneira de utilização de um produto precisa ser evidente para o usuário sem desprender esforço para manusear, além de ter uma linguagem mais próxima do usuário final. É importante também que os elementos de tela que compõem o *software* sejam óbvios e fáceis de se entender.

Desta forma, o principal objetivo da prototipação é a criação de um modelo de *software* que possa ser demonstrado e validado pelo usuário final, neste caso o profissional fisioterapeuta, e também, auxiliar o desenvolvedor na concepção do desenvolvimento da

²<https://www.figma.com/>

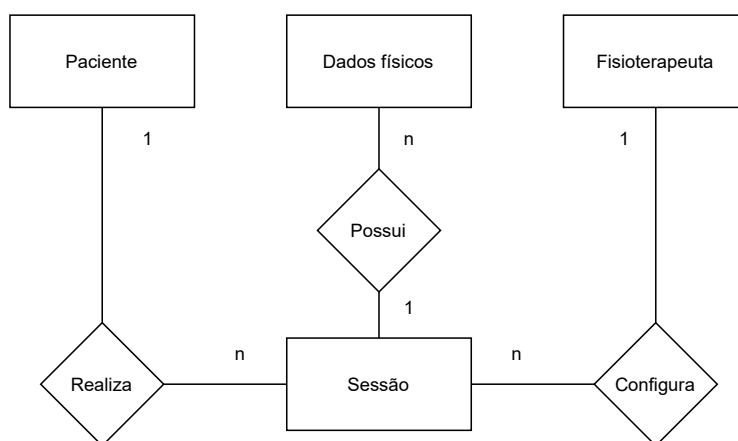
aplicação. A classificação deste protótipo de telas é dito evolucionário já que ele contém um subconjunto dos requisitos do produto final, não possuindo todas as especificações definidas (FILHO, 2009).

Assim sendo, o desenvolvimento do *software* também tem como requisito importante o armazenamento de todas as informações capturadas pelo fisioterapeuta e também pelo jogo. Portanto, para essa funcionalidade foi escolhida a utilização do Banco de Dados MySQL³, ele é um Sistema de Gerenciamento de Banco de dados (SGBD) Relacional de código-aberto. A escolha deste SGBD se sucedeu por ser do domínio da autora. Inicialmente, o banco de dados será localmente no computador, sem conexão remota.

Desta forma, na Figura 25 está representado o Diagrama Entidade Relacionamento do Banco de dados do *software* proposto. Neste, estão descritas as entidades fisioterapeuta, paciente, sessão e dados físicos. Dentre elas há relacionamentos do tipo um para muitos (1:n), sendo descritos da seguinte forma:

- Paciente realiza sessão, logo, um paciente pode realizar n sessões.
- Sessão possui dados físicos, portanto, uma sessão possui n dados físicos.
- Fisioterapeuta configura sessão, logo, um fisioterapeuta configura n sessões.

Figura 25 – Diagrama Entidade Relacionamento do *software*.



Fonte: Autora (2021).

Diante disso, a modelagem do *software* se sucedeu com a criação dos possíveis protótipos das telas e, também com a modelagem conceitual do Banco de dados. Em suma, os artefatos criados nesta etapa são utilizados como base para o efetivo desenvolvimento da solução.

³<https://www.mysql.com/>

4.3.3 Modelagem da Arquitetura do Sistema

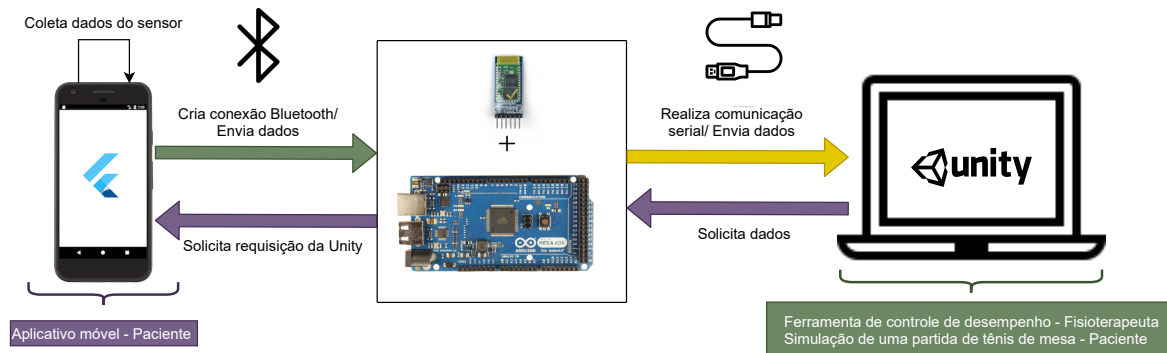
Para implementar a solução em *hardware* do problema de pesquisa deste trabalho, buscou-se alternativas que pudessem ser utilizadas para a captura dos dados de movimentação, tanto do coto quanto do braço, do paciente. Desta forma, optou-se pela utilização do sensor giroscópio contido na maioria dos *smartphones* atualmente.

A fim de realizar a captura dos dados deste sensor, foi projetado o desenvolvimento de um aplicativo móvel. Para isto se optou pela utilização do *framework* Flutter para a criação da aplicação para dispositivos cujo sistema operacional seja Android. A escolha desta ferramenta se sucedeu por possuir *packages* que auxiliam a desenvolvedora no acesso a recursos nativos do aparelho.

Além da captura dos dados de movimentos através do aplicativo é necessária uma comunicação da aplicação móvel com o *software*, que é denotada pela integração do jogo, que é um simulador de partida de tênis, e a ferramenta de rastreamento dos pacientes que realizam sessões com a plataforma, possibilitando ao fisioterapeuta ter uma visão da evolução do seu enfermo.

Desta forma, para a realização desta comunicação é utilizada a plataforma de prototipação Arduino juntamente com um módulo *Bluetooth* do tipo HC-05, que utiliza o Protocolo de Porta Serial (SPP). A integração da placa Arduino com o módulo *Bluetooth* possibilita a comunicação das informações coletadas pela aplicação móvel com o *software*. Isto se dá através da conexão *Bluetooth* realizada entre aplicação móvel e módulo HC-05, que está agregado na plataforma de prototipação Arduino, esta integração pode ser designada como sendo o nó sensor da solução. Assim sendo, é efetuada uma comunicação serial entre a *Unity 3D* e o Arduino. Na Figura 26 é demonstrado como se dá a integração e a comunicação entre *hardware* e *software*.

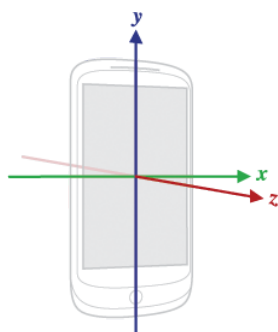
Portanto, após a aplicação móvel ser inicializada é realizada a conexão *Bluetooth* com o módulo HC-05 que está integrado na placa do Arduino. Realizada a conexão, o aplicativo aguarda a calibragem do sensor que é dada através de uma tutoria na tela do jogo. O paciente efetuará a movimentação na direção do eixo x, conforme demonstrado na Figura 27 que apresenta os eixos cartesianos utilizados como referência pelos sensores dos *smartphones*. Esta locomoção deve ocorrer de modo a capturar os valores máximos possíveis que o mesmo consegue atingir, para a direita e esquerda.

Figura 26 – Comunicação entre nó sensor e *software*.

Fonte: Autora (2021).

Desta forma, os dados capturados são do sensor giroscópio e lidos do eixo de referência z, do plano cartesiano, representado na Figura 27. Para se ter acesso no aplicativo aos recursos dos sensores é utilizado o *package sensors_plus*⁴ que possibilita o acesso aos eventos ocorridos sobre o acelerômetro e o giroscópio. Os valores apurados do giroscópio consideram os efeitos da gravidade sobre o aparelho. Os dados são retornados em *rad/s*, que é taxa de rotação do *smartphone* sobre um determinado eixo. A cada novo evento sobre o *smartphone* é executada a coleta, processamento e o envio dos dados para o módulo *Bluetooth*.

Figura 27 – Eixo de coordenadas utilizadas como referência pelos sensores.



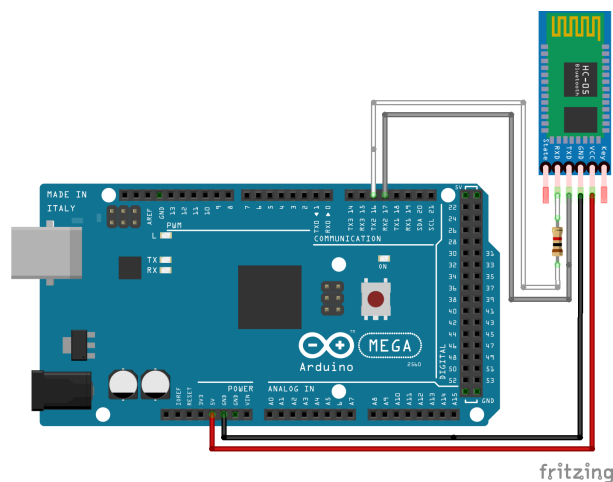
Fonte: Google Developers⁵.

A disposição da conexão entre Arduino e módulo *Bluetooth* é dada conforme a Figura 28 que expõe como eles estão integrados. O modo de operação do módulo está configurado para operar no modo *master*, que é quando o módulo pode se conectar a outros dispositivos *Bluetooth*.

⁴https://pub.dev/packages/sensors_plus

⁵Disponível em: <https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview.html?hl=pt-br>

Figura 28 – Montagem do Circuito do Arduino + Módulo HC-05.



Fonte: Autora (2021).

Assim sendo, para a comunicação da aplicação com o módulo HC-05 e o Arduino é utilizado o *package Bluetooth Serial*⁶ que auxilia na criação da conexão, envio e recebimento dos pacotes. Portanto, as principais funções do aplicativo são a calibragem do sensor e a coleta dos dados do sensor.

4.3.4 Modelagem do Jogo

Assim como dito na modelagem do *software*, o jogo é desenvolvido utilizando a *Game Engine Unity 3D* e a linguagem de programação C#. A ideia norteadora do jogo é que através da simulação de uma partida de tênis de mesa se possa estimular o paciente a se concentrar no jogo entrando, portanto, no estado de *flow*. Ao atingir este nível de concentração o paciente não sentirá desconforto no membro e, assim, conseguirá desempenhar a sessão sem aflição. Além disso, o fisioterapeuta poderá acompanhar, posteriormente, o desempenho do paciente no decorrer da partida, além de ter a possibilidade de configurar o melhor modo de jogo para cada perfil de paciente.

Desta maneira, é válido exemplificar como se dá o procedimento de movimentação do principal elemento do jogo, que é a raquete virtual. Sendo assim, o procedimento é dividido em cinco etapas:

- Calibragem: esta etapa é indispensável, pois, é neste estágio que serão coletados os limiares máximos da direita e esquerda de movimentação do coto, ou braço,

⁶https://pub.dev/packages/flutter_bluetooth_serial

do paciente. Nesta fase, os dados do giroscópio são coletados e, posteriormente, utilizados para realizar o cálculo do fator de escala. É utilizada esta modalidade de cálculo para que se possa criar um rastreamento nos limites da mesa, aonde o paciente está movimentando a raquete através do sensor.

- Captura dos dados do sensor: concluída a calibração, é emitida pela aplicação móvel uma notificação para a *Unity* que pode ser iniciada a captura dos dados do sensor giroscópio. Logo, o aplicativo inicia a captura dos eventos do giroscópio e envia para a função que processa e verifica se o movimento executado é válido.
- Processamento: o tratamento dos dados coletados são processados pela própria aplicação móvel que realiza o cálculo do fator de escala e, a partir dos valores calculados, verifica se houve uma movimentação válida. Se a movimentação for válida, é realizado o cálculo da posição e o seu resultado é empacotado em uma *string*. Neste pacote, são enviados os seguintes valores via comunicação *Bluetooth*: direção para onde deve ser executado o movimento: direita(D), esquerda(E) ou parado(P); após, é adicionada uma *string* para realizar a separação dos dados “;”, e, além disso, é enviado também a posição pretendida que a raquete seja movida.
- Cálculo de movimento: ao enviar o pacote, via comunicação *Bluetooth* para a placa Arduino, os dados são reencaminhados via comunicação Serial para a *Unity*, que recebe os dados e executa um tratamento nos valores recebidos. O tratamento dos dados consiste na separação para verificar para qual sentido é a movimentação e, qual a posição em que a raquete deve ser posicionada. Após, é realizado o cálculo de deslocamento da raquete utilizando os dados da posição atual da raquete no jogo e a posição pretendida recebida via comunicação *Bluetooth*.
- Resposta Visual: executar a movimentação da raquete para a direita ou para a esquerda, a fim de rebater a bolinha de tênis.

Em suma, o movimento da raquete é dado através de diversos passos essenciais para que seja possível para o jogador realizar a partida e a movimentação da raquete com melhor desempenho. Desta forma, o jogo busca instigar o paciente e estimulá-lo a alcançar o estado de *flow*. Assim sendo, na próxima seção, serão demonstrados todos os passos seguidos para o desenvolvimento do sistema.

4.4 Desenvolvimento da ferramenta

Nesta seção será descrito como é realizada a integração do jogo e do nó sensor, além de descrever os problemas encontrados no decorrer do desenvolvimento da solução denominada TennisGame Physio. Ademais, será mostrada a implementação da ferramenta de acompanhamento para os profissionais fisioterapeutas.

4.4.1 Integração Jogo e Nó Sensor

A primeira versão de desenvolvimento da ferramenta, contou com a utilização do sensor do tipo acelerômetro do *smartphone*. O aplicativo móvel possuía apenas a função de conexão *Bluetooth* com o módulo HC-05 integrado na placa do Arduino e, realizava o envio dos dados do acelerômetro no eixo x, em um intervalo de tempo de envio a cada um segundo. Contudo, ao criar a partida e, na primeira tentativa de jogabilidade verificou-se que o intervalo de tempo de envio dos dados ocasionava *delay* na movimentação da raquete. Logo, optou-se pela mudança do intervalo de tempo de envio de um segundo para a cada um milissegundos.

Após a modificação do intervalo de tempo houve a constatação de um outro problema, durante o envio dos dados do acelerômetro via comunicação *Bluetooth* as informações ficavam embaralhadas, de modo, a não ser possível realizar uma leitura dos valores. Desta maneira, foi sondado que o tamanho do *baud rate*, ou seja, a velocidade de transmissão dos dados não estava dando a vazão suficiente para a nova taxa de atualização e envio das informações. Sendo assim, foi necessário realizar a configuração do módulo HC-05, de modo a modificar a velocidade de 9600 para 115200 bits por segundos.

Concluída a modificação do *baud rate* foi averiguado que os dados estavam sendo recebidos de forma satisfatória, porém, a função que estava sendo utilizada pelo *script* de movimentação na linguagem C#, não realizava a mudança da posição corretamente. Desta forma, constatou-se que era necessário utilizar um método matemático para o tratamento dos dados coletados do acelerômetro, de modo, a criar um rastreamento da posição do sensor e, a partir disso, indicar a posição para a qual a raquete deveria ser encaminhada no jogo.

Deste modo, optou-se pela utilização de métodos de integração, tendo em vista que, a partir da aceleração é possível calcular a distância, basta realizar a integral dupla da mesma. Assim sendo, houve a implementação da Regra dos Trapézios representada

pela equação (1).

$$distancia = \frac{(a + a_0) * (t - t_0)}{2} \quad (1)$$

As variáveis da equação (1) são denotadas como sendo: a é a aceleração no tempo t , a_0 é a aceleração inicial no tempo t_0 . Desta maneira, o cálculo da distância utilizando a Regra do Trapézio foi inserido na lógica de processamento dos dados coletados do acelerômetro, porém, ao verificar o retorno das informações foi averiguado que o método não poderia ser utilizado na solução. Em razão da taxa com que os dados do acelerômetro são coletados e, também, há a coleta de dados negativos o que resulta em valores de distância incongruentes.

Desta forma, houve o descarte da possibilidade de utilização da Regra dos Trapézios para rastrear o sensor em função da raquete virtual. A alternativa à Regra dos Trapézios foi o processamento dos valores coletados, em relação a sua direção. Isto é, se os valores são maiores do que zero, a direção é para a direita, quando são menores do que zero é para a esquerda e, por fim, se igual a zero, ele se encontra parado.

Ao executar os primeiros testes no SRF utilizando a metodologia de envio dos dados de direção via comunicação *Bluetooth* para a placa Arduino e, posteriormente, encaminhando para a *Unity* via comunicação serial, notou-se que o movimento ocorria, porém, necessitava de aprimoramentos. Visto que, acontecia em diferentes momentos anomalias na renderização do movimento como perda da localização da raquete na tela, gargalos no movimento e, a dificuldade para o paciente conseguir controlar a raquete virtual mesmo gerando o movimento com o sensor corretamente.

Os problemas descritos foram ocasionados pelo lixo (informações inválidas) que ficava no *buffer* de entrada do módulo *Bluetooth* HC-05, além, da falha na comunicação entre os dados por conta da falta de um protocolo de comunicação para que, tanto o nó sensor, quanto o sistema soubesse em qual etapa estava em execução. Além disso, também foi aferido que o sensor acelerômetro possui ruído nos dados, que ocasiona a não coleta do zero absoluto. Sendo assim, impossibilitando que a aplicação móvel detecte que o paciente está com o membro parado.

Portanto, foi necessário a refatoração do jogo, modificando desde como é realizada a coleta dos dados e o processamento dos mesmos, até a troca das funções nativas de movimentação no *script* que executa a translação da raquete virtual no jogo. Assim sendo, o primeiro aspecto remodelado foi a criação do protocolo de *Handshake* da solução. Desta maneira, na Tabela 3 está exemplificado as *flags*, o caminho a ser percorrido, e a descrição

Tabela 3 – Tabela de demonstração do Protocolo de Handshake

Flag Emitida	Emissor/Receptor	Descrição
0	Unity/Arduino/Smartphone	Calibragem para a direita
1	Unity/Arduino/Smartphone	Calibragem para a esquerda
2	Unity/Arduino/Smartphone	Movimento
3	Smartphone/Arduino	Conexão Estabelecida
4	Arduino/Smartphone	Conexão Estabelecida ok
5	Unity/Arduino/Smartphone	Reiniciar
6	Smartphone/Arduino/Unity	Calibragem será iniciada
7	Smartphone/Arduino/Unity	Calibragem concluída
8	Unity/Arduino/Smartphone	Parar leitura de dados de movimento
9	Smartphone/Arduino/Unity	Erro na calibragem
A	Smartphone/Arduino/Unity	Aguardar

Fonte: Autora (2021)

da referida ação a ser desempenhada por esta mensagem de comunicação.

No protocolo *Handshake* os pacotes com as informações são do tipo *string* e, cada mensagem enviada possui um objetivo específico. Nos casos em que é necessário que o sensor seja calibrado, tanto para a direita quanto para a esquerda, o *software* do jogo emite, ou zero ou um, através de comunicação serial para a placa Arduino, comunicando que será executado um processo de calibragem. Assim, ao ser recebida a informação pelo Arduino essa mensagem é validada e reencaminhada via comunicação *Bluetooth* para o *Smartphone*. O dado quando recebido é validado e, se a informação está correta o *Smartphone* reencaminha o pacote, com a *flag* sete, de que a calibragem será iniciada.

Durante a execução do processo de calibragem, se houver a coleta de um valor válido, o *Smartphone* envia a mensagem, com valor “A”, via comunicação *Bluetooth* alertando que o *software* emita um aviso para o jogador, de modo a notificar que o mesmo aguarde a finalização da calibração, na sua atual posição. Caso contrário, se não for possível realizar a coleta de um valor válido, é emitido o valor nove, que significa que houve um erro durante a calibragem. Logo, o *software* precisará requisitar que o paciente refaça a calibragem.

Ademais, há o emprego da *flag* dois que é a responsável pela solicitação de dados de movimentação, ou seja, quando é dado o início a partida o jogo requisitará os dados. Logo, via comunicação serial, ele solicita que seja enviado os dados de movimentação. Esta regra de comunicação é uma das mais essenciais da solução, pois, através dela foi possível melhorar a comunicação dos dados e, também, aprimorar o movimento da raquete virtual. Além disso, também foi empregado o uso de funções nativas da biblioteca

Serial.port⁷, da linguagem C#, a qual realiza a limpeza do *buffer* de recepção, evitando as inconsistências da versão anterior. Ademais, viabiliza apurar quando o *buffer* têm um novo dado, ou ainda, quando ele está vazio. Outrora, não era possível verificar quando se tinha novos dados, logo, eram aplicados processamento de dados em valores errôneos o que resultava em anomalias no sistema.

No que se refere a raquete virtual sair da cena do jogo, foi necessário a criação de colisores invisíveis e, também, a troca da função que gerava a transladação da raquete. Além disso, houve a modificação das funções que detectavam colisões entre os objetos e, também, a refatoração de toda a física do jogo. Com isso, houve a delimitação de onde o elemento poderia se deslocar e, também, o aperfeiçoamento do movimento da raquete.

Todavia, a mobilidade da raquete ainda não funcionava com fluidez, sendo assim, foi incorporada a função de calibragem. Ela é executada no nó sensor e, sua funcionalidade é descrita através da coleta dos valores extremos, tanto para a direita quanto esquerda. Esses dados são capturados e salvos no intervalo de tempo de 15 segundos.

Os extremos armazenados são utilizados na função de coleta de dados de movimento, a fim de, conseguir detectar quando o movimento é válido e, também, realizar a tentativa de descartar o ruído do sensor. No qual, impossibilita a verificação de quando o paciente está em repouso. Após a execução de testes funcionais utilizando a calibragem, houve a observância de que mesmo empregando a lógica de calibragem não era possível anular totalmente o ruído do sensor. Desta maneira, optou-se pelo truncamento do valor lido, ou seja, são considerados apenas os valores inteiros lidos pelo acelerômetro com o intuito de diminuir o ruído.

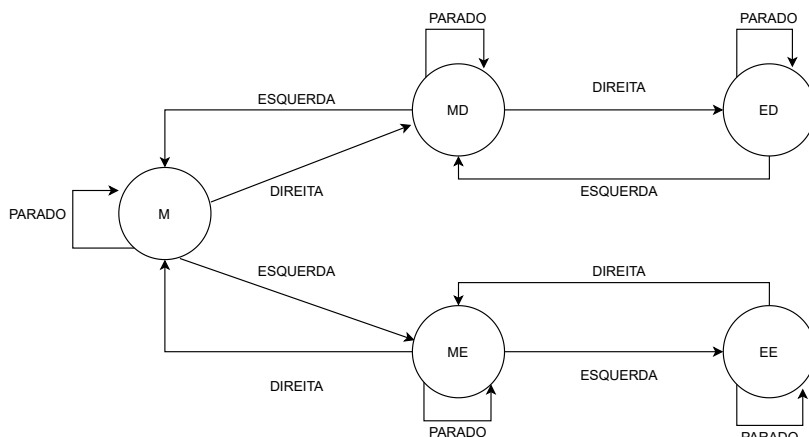
Contudo, durante a aplicação dos testes aferiu-se que em certos momentos ocorria uma anomalia no movimento, de modo a não ser possível rebater a bolinha, pois, a raquete não adentrava na condição de parado devido a sensibilidade do sensor acelerômetro. Além disso, a raquete virtual realizava “saltos” na movimentação, o que ocasionava *delay* na renderização do jogo.

Desta maneira, se sucedeu a concepção de uma nova metodologia para rastrear em quais posições o paciente já esteve com o sensor, onde está atualmente e, por fim, para onde ele pode mover a raquete virtual. Sendo assim, foi criado uma máquina de estados, conforme demonstrado na Figura 29. Nesta solução é utilizado o envio, pelo *software* por meio da comunicação serial, da indicação de qual é a posição atual da raquete virtual. Os

⁷<https://docs.microsoft.com/pt-br/dotnet/api/system.io.ports.serialport?view=dotnet-plat-ext-5.0>

pontos, nos quais, são enviados pela *Unity* podem ser verificados na Figura 30.

Figura 29 – Máquina de estados da metodologia de rastreo da posição.



Fonte: Autora (2021).

Na concepção e execução dos testes utilizando a lógica da máquina de estados notou-se que os problemas persistiram e que o *delay* aumentou. Portanto, foi descartado a utilização da lógica da máquina de estados, dado que, ela não é a solução ideal. Desta forma, ao denotar que os dados coletados do sensor acelerômetro possuem ruído e, por conseguinte, geram anomalias no movimento, foi necessário averiguar a segunda alternativa de sensor que é o giroscópio. Os dados coletados do sensor giroscópio são os valores de rotação do *smartphone* no eixo de referência.

Figura 30 – Rastreo das posições possíveis para a raquete virtual na mesa do jogo.

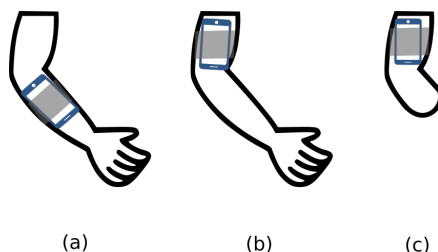


Fonte: Autora (2021).

A primeira ação para realizar a troca dos sensores, foi a averiguação de quais dos eixos (x, y, z) executariam a melhor coleta dos dados, a fim de, evitar que o problema com os ruídos ocorrido com o acelerômetro fosse repetido. À vista disso, foi delimitado em quais posições o *smartphone* deveria ser posicionado, está localização é exemplificada na Figura 31.

Após criar a configuração do posicionamento do sensor foi executado testes de coleta dos dados do sensor giroscópio. Inicialmente foi averiguado no eixo x, que não retornou dados congruentes com as posições configuradas, posteriormente, foi examinado os dados no eixo y de coleta que, da mesma maneira, retornava valores incongruentes. Por

Figura 31 – Posicionamento do smartphone junto ao paciente.

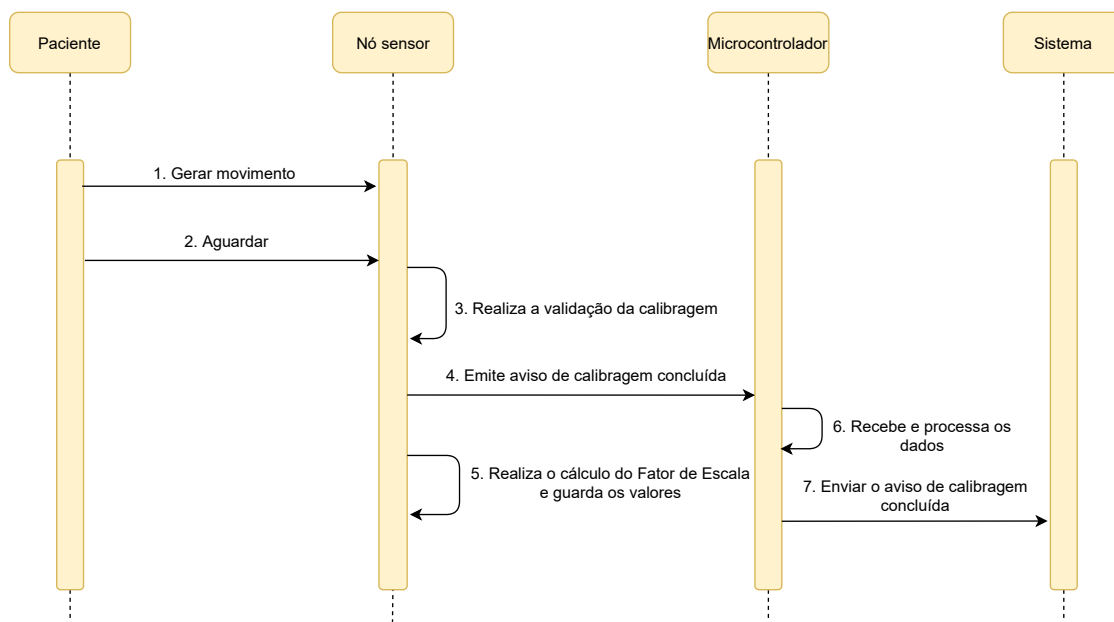


Fonte: Autora (2021).

fim, foi executado o teste com a coleta dos dados do sensor giroscópio no eixo z, no qual, demonstrou boa eficácia na captura e, também, apresentava muito pouco ruído, de modo a conseguir averiguar quando o paciente estava imóvel.

Sendo assim, optou-se pela escolha da coleta dos dados no eixo z de captura do sensor giroscópio e, também, houve a modificação da função de calibragem. Portanto, para exemplificar como se dá a calibragem do sensor na presente solução, na Figura 32 está descrito o Diagrama de sequência da calibragem. Desta maneira, foi necessário reformular também como se dá o rastreo do movimento executado pelo paciente para determinar para quais pontos a raquete virtual deve se locomover.

Figura 32 – Diagrama de sequência da calibragem.



Fonte: Autora (2021).

Portanto, houve a criação de um novo método de rastreo das posições do sensor em relação a mesa do jogo. Desta forma, se sucedeu a inserção do cálculo do fator de

escala, no qual, realiza a operação com os valores coletados da calibragem para a direita e esquerda e, também, com os valores máximos que a raquete virtual pode se deslocar sobre a mesa do jogo. Sendo assim, a equação (2) demonstra como é realizado o cálculo do fator de escala da direita, “FE_DIR” onde o numerador descreve o valor máximo possível para a direita e, o denominador é o módulo do valor de calibragem para a direita. Do mesmo modo, a equação (3) descreve o cálculo do fator de escala da esquerda, “FE_ESQ” sendo o numerador a posição máxima para a esquerda na mesa do jogo.

$$FE_DIR = \frac{8}{|calibragem_direita|} \quad (2)$$

$$FE_ESQ = \frac{-8}{|calibragem_esquerda|} \quad (3)$$

A utilização do fator de escala tem por objetivo mapear o valor coletado através do movimento do paciente com o sensor giroscópio, em uma movimentação válida da raquete no jogo. Deste modo, os valores dos fatores de escala, da direita e esquerda, são empregados no cálculo da posição para a qual a raquete virtual deve se deslocar.

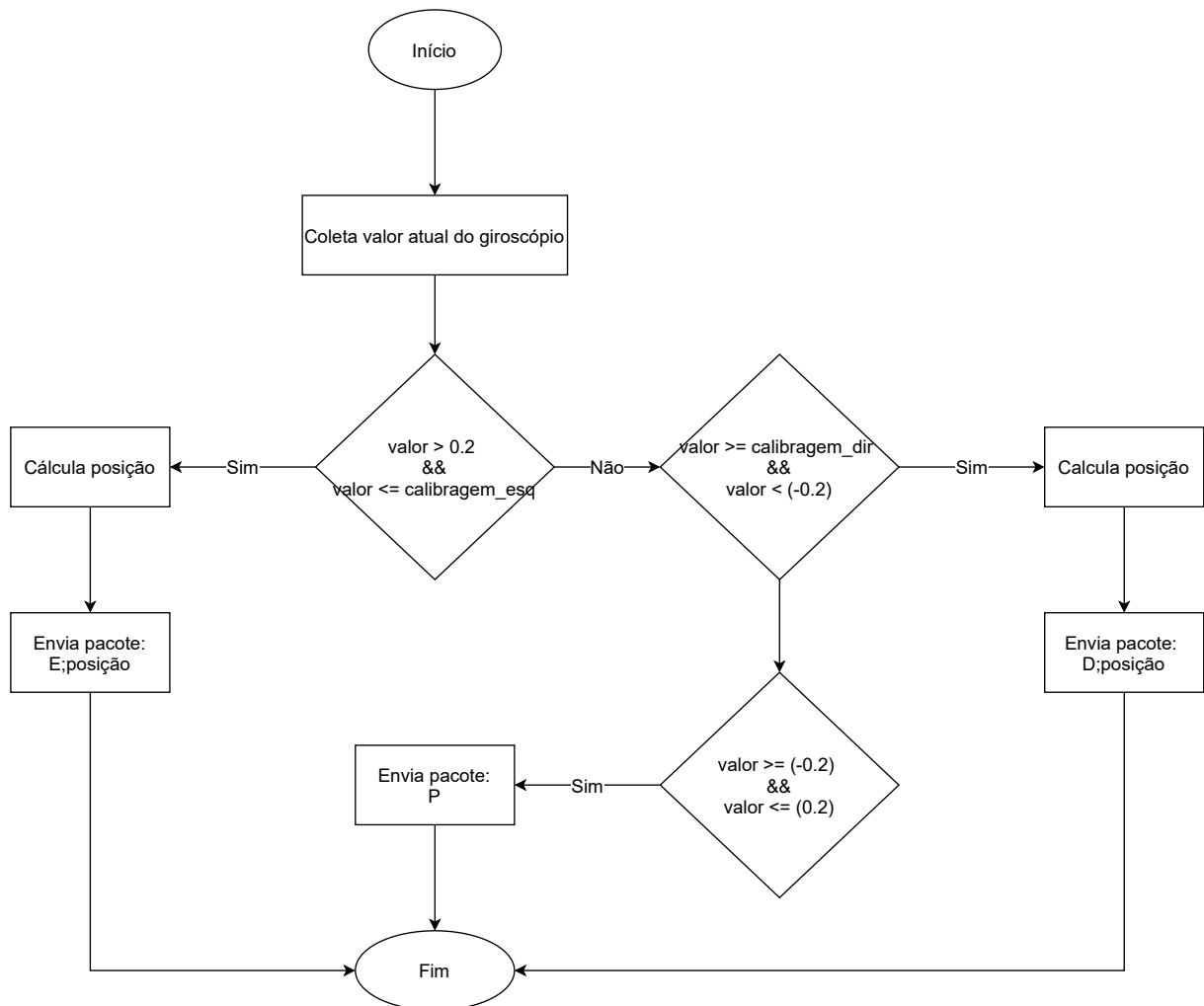
Sendo assim, a equação (4) descreve como se sucede a operação da posição, onde “FE” é o fator de escala da direita ou esquerda, dependendo de para qual lado houve a movimentação do sensor. Para compreensão de como é realizado a verificação e a validação do movimento, pelo nó sensor, na Figura 33 está representado o fluxograma da lógica implementada.

$$posicao = FE * valorGiroscopioAtual \quad (4)$$

Após a realização da verificação, validação e a execução do cálculo o pacote contendo para qual direção é o movimento e, qual a posição é enviado via comunicação *Bluetooth* do *Smartphone* para a placa do *Arduino* que, executa uma autenticação nos dados para detectar possíveis falhas na comunicação. Deste modo, ao concluir a verificação o pacote com as informações são enviados via comunicação serial para o jogo na *Unity*.

No momento que é recebido o pacote na *Unity* ele é lido e processado para que se colete a direção para a qual a raquete virtual deve se deslocar e, qual é a posição desejada. Posteriormente, é encaminhado via comunicação serial a requisição de um novo dado, emitindo a *flag 2*, através do protocolo *Handshake* desenvolvido anteriormente.

Figura 33 – Fluxograma da função de validação do movimento.



Fonte: Autora (2021).

Além disso, há a verificação novamente dos dados recebidos, para que não execute falsos cálculos prejudicando o movimento do avatar no jogo. Se, as informações recebidas estão corretas é dado o início ao cálculo do deslocamento. Sendo assim, primeiramente, é coletado a posição atual da raquete, de modo a verificar se a posição para a qual se deseja mover a raquete é válida. Se sim, é executado o cálculo do deslocamento, podendo ser de três tipos dependendo dos valores, da seguinte maneira:

1. Posição atual da raquete virtual é igual a zero, ou está no intervalo entre um e menos um: o cálculo do deslocamento é dado pela soma da posição atual da raquete e a posição oriunda do nó sensor.
2. Posição capturada pelo nó sensor é maior do que a posição atual da raquete: o cálculo do deslocamento é dado pela diferença entre a posição do nó sensor e a posição atual da raquete virtual.

3. Posição atual da raquete é maior do que a posição coletada pelo nó sensor: a operação do deslocamento é dado pela diferença entre a posição atual da raquete e a posição coletada pelo nó sensor.

Portanto, dentre as metodologias criadas e testadas, a utilização do fator de escala em conjunto com a funcionalidade de calibragem e, também, o emprego do protocolo *Handshake* foi o método que obteve melhor desempenho. Os problemas com a renderização do movimento da raquete e, também, a dificuldade encontrada no controle da mesma foram ajustados. Sendo assim, na Figura 34 pode ser verificado a cena principal do jogo, na qual, são aplicados os dados transportados, através da integração entre nó sensor e jogo, para a execução do simulador de partida de tênis de mesa.

Figura 34 – Cena do simulador de partida de tênis de mesa.



Fonte: Autora (2021).

4.4.2 Implementação Módulo Fisioterapeutas

A elaboração da ferramenta de apoio aos fisioterapeutas é integrada ao simulador de partida de tênis de mesa. Esta funcionalidade possibilita ao profissional fisioterapeuta realizar o *login* e cadastro de pacientes, além de, visualizar o histórico das sessões executadas pelos pacientes, gerar gráficos e relatórios, a partir dos dados das sessões, e configurar uma nova partida.

As partidas podem ser de três tipos: partida demo, que é apenas para o paciente se adaptar ao modo de deslocamento da raquete virtual em conjunto com o movimento do nó sensor; tempo de partida, que é inserido por quantos minutos o fisioterapeuta deseja que o paciente execute a sessão; por fim, por níveis de dificuldade: fácil, médio e difícil.

Ademais, há a coleta de dados durante as sessões, sendo capturado: o placar da partida entre paciente e *bot*, modo da partida que foi configurado pelo fisioterapeuta, tempo decorrido da partida, número de acertos e erros do paciente, número de rebates efetuados pelo *bot* e os coeficientes de efetividade e desempenho do paciente. A Figura 35 demonstra a tela de *feedback* que é retornada ao final da partida.

Figura 35 – Tela de feedback da partida.



Fonte: Autora (2021).

O profissional fisioterapeuta poderá realizar a coleta dos dados físicos do paciente, se considerar necessário, antes e após a partida, a fim de, monitorar o condicionamento do paciente. A Figura 36 apresenta a tela de captura dos dados físicos do paciente. Além disso, o fisioterapeuta poderá verificar quais sessões o paciente já executou e, quais são

os dados das partidas realizadas.

Figura 36 – Cena de coleta dos dados físicos do paciente.

Fonte: Autora (2021).

Desta forma, é gerado uma listagem do histórico das sessões disponíveis, e a partir disso, pode ser selecionado quais sessões se deseja visualizar as informações. Ademais, é possível gerar dois tipos de gráficos: desempenho em relação ao número de partidas e a efetividade em relação ao número de partidas.

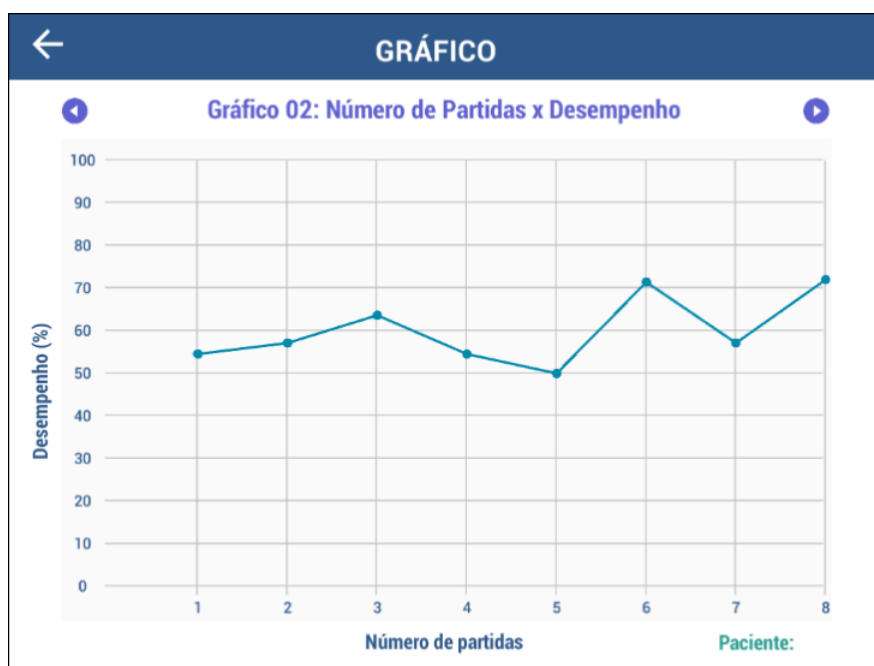
De modo a tornar a análise dos dados do paciente menos subjetiva durante a partida foi modelado e criado os coeficientes de efetividade e desempenho do indivíduo. As análises criadas são uma das principais contribuições da presente solução, tendo em vista que, esta análise não existia anteriormente. O coeficiente de efetividade é descrito como sendo o aproveitamento do paciente em relação à pontuação obtida, sendo que o cálculo é descrito pela equação (5). Esta efetividade é com relação ao número de pontos que o mesmo conseguiu alcançar, quanto maior o número de pontos, maior é a efetividade em vencer a partida. Já o coeficiente de desempenho, descrito pela equação (6), é o aproveitamento do paciente em relação à disputa do jogo, é o valor relacionado ao quanto disputado foi a partida.

$$E\text{fetividade} = \frac{\text{Placar do paciente}}{(\text{Placar do paciente} + \text{Placar do bot})} \quad (5)$$

$$D\text{esempenho} = \frac{(\text{Numero de acertos} - \text{Placar do paciente})}{(\text{Numero de rebates} - \text{Placar do bot})} \quad (6)$$

O paciente pode ter vencido a partida e ter alcançado uma alta efetividade, porém, seu desempenho pode ser baixo. Assim como, ele pode ter perdido a partida e ter alcançado um alto desempenho durante a sessão. Na Figura 37 está demonstrado a geração do gráfico de desempenho do paciente.

Figura 37 – Cena de geração do gráfico do coeficiente de desempenho.



Fonte: Autora (2021).

Portanto, ao finalizar a visualização dos dados das sessões das partidas e a geração dos gráficos há a exportação dos dados e gráficos para um arquivo do tipo pdf. No Apêndice F pode ser visualizado um exemplo de relatório gerado a partir da ferramenta.

5 TESTES E RESULTADOS

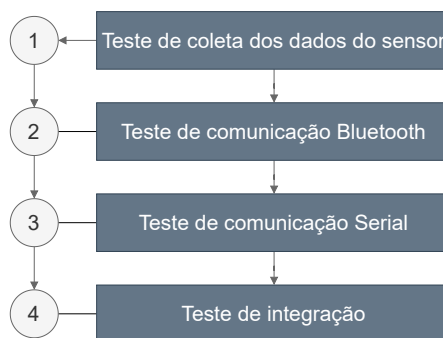
Este capítulo apresenta os conceitos envolvidos na elaboração e execução de testes da solução. Desta forma, serão apresentadas as informações referentes a concepção dos testes e as considerações sobre os resultados obtidos.

5.1 Avaliação de precisão do sistema

Inicialmente, para a validação da solução desenvolvida foram elaborados testes que abordam desde a verificação de funcionamento da coleta de dados do sensor, comunicação entre os componentes de *hardware* assim como, a avaliação em conjunto do sistema. A especificação e a elaboração completa dos experimentos pode ser analisada no Apêndice D, que descreve o Plano de Testes da solução.

Na Figura 38 está representado, de maneira ilustrativa, como foi realizada a sequência dos testes da etapa de avaliação de precisão do sistema. O primeiro teste consistiu na coleta dos dados do sensor giroscópio, após, foi realizado o teste de comunicação *Bluetooth* entre *smartphone* e módulo HC-05. O terceiro estágio foi a avaliação da comunicação serial entre a placa do Arduino e a *Unity* e, por fim, o teste de integração entre nó sensor e *software*.

Figura 38 – Sistemática dos testes realizados.



Fonte: Autora (2021).

Na etapa de teste da coleta dos dados do sensor, os resultados obtidos através da captura dos valores pelo aplicativo móvel do *Smartphone* foram satisfatórios, demonstrando a capacidade de leitura das informações no intervalo de tempo requisitado. Já na aplicação dos testes da comunicação *Bluetooth* entre o módulo HC-05 contido na placa do Arduino e o *smartphone*, foi alcançado o comportamento esperado que permite

o estabelecimento da comunicação dos valores.

A etapa de comunicação serial entre a placa Arduino e o *software* desenvolvido na Unity procedeu da maneira almejada, na qual, os dados requisitados são recebidos corretamente. Por fim, o teste de integração transcorreu de maneira satisfatória permitindo o envio e recebimento dos dados de maneira precisa e sem *delay*.

Na próxima seção será descrito como se sucedeu a validação da solução, quais pacientes participaram da avaliação e quais foram os resultados obtidos a partir do teste da aplicação.

5.2 Validação do TennisGame Physio e Testes com Pacientes

Tendo em vista que, o principal objetivo do presente trabalho é a criação de uma solução que auxilie profissionais de fisioterapia nas sessões de reabilitação de amputados, é necessário realizar a experimentação da solução junto aos pacientes e fisioterapeutas. Deste modo, foram selecionados alguns pacientes para participarem dos testes da solução desenvolvida. Os indivíduos foram escolhidos pelos profissionais de fisioterapia do SRF, de acordo com o seu grau de aptidão física e a capacidade de executar os movimentos requisitados durante a sessão.

Por questões sanitárias impostas pela disseminação do coronavírus, foram selecionados dois pacientes que realizaram a execução de sessões do TennisGame Physio com o acompanhamento dos fisioterapeutas. Assim, na Tabela 4, são apresentadas as características dos pacientes, onde são expostas as informações de sexo, idade, nível da amputação e a etapa de reabilitação na qual o paciente se encontra.

Tabela 4 – Perfil dos pacientes selecionados para a validação da solução

	Paciente 1	Paciente 2
Sexo	Masculino	Masculino
Idade	28	56
Nível da amputação	Inferior	Inferior
Etapas de reabilitação	Pré-protética	Protética

Fonte: Autora (2021)

A Figura 39 apresenta a realização dos testes em um dos pacientes do grupo experimental. Na Figura é possível observar como é disposto o *smartphone* com auxílio da braçadeira junto ao paciente. Além disso, a visão do paciente para com o simulador e também o módulo HC-05 conectado a placa Arduino.

Figura 39 – Disposição dos sensores.



Fonte: Autora (2021).

O paciente um, que estava na fase pré-protética, utilizou a solução para auxiliar na sessão que trabalha o equilíbrio do paciente. Em vista de que, durante a sessão, o mesmo estava se equilibrando sem o uso de muletas e andador pela primeira vez. A demonstração da execução do teste pode ser verificado na Figura 40. Este indivíduo realizou duas sessões, totalizando 14 partidas jogadas, com no mínimo duas execuções de cada categoria de dificuldade do jogo.

Figura 40 – Validação da solução com paciente.



Fonte: Autora (2021).

Já o paciente da Figura 41 no primeiro teste executado, se situava no início da etapa protética, sendo que, ele havia recebido a prótese recentemente e estava se familiarizando com o novo membro. Ele foi decisivo na captura dos problemas descritos anteriormente na seção 4.4.1, pois, ele realizou uma partida teste inicial. Ao todo, esse indivíduo executou duas sessões, totalizando cerca de sete partidas jogadas, com exceção do teste inicial que não houve coleta de dados. Houve a execução de, no mínimo, duas partidas para cada nível de dificuldade do jogo.

Figura 41 – Teste inicial com paciente.



Fonte: Autora (2021).

Portanto, com o objetivo de avaliar a utilização da solução foram elaborados dois questionários: um para o paciente e outro para o fisioterapeuta. Sendo que, o propósito desses questionários é obter o *feedback* dos fisioterapeutas com relação ao quão aplicável é o emprego da solução e, dos pacientes é identificar se houve o alcance do estado de *flow*. Os formulários criados podem ser visualizados nos Apêndices G e H que exemplifica as interrogações aplicadas aos fisioterapeutas e pacientes, respectivamente.

5.3 Avaliação da solução

O TennisGame Physio foi utilizado durante as sessões de reabilitação de amputados de membro inferior na fase pré-protética e protética. Ademais, os fisioterapeutas controlaram as sessões e, após a finalização das partidas, tanto os profissionais fisioterapeutas quanto os pacientes responderam aos questionários desenvolvidos.

Os pacientes tiveram nove perguntas com relação ao simulador de partida de tênis de mesa e a avaliação foi efetuada por meio da Escala Likert que apresenta cinco possíveis respostas, que contemplam os extremos “Discordo Fortemente” e “Concordo Fortemente”.

Em contrapartida, os fisioterapeutas foram indagados com relação a ferramenta de apoio e na análise do paciente durante o jogo. O questionamento dos fisioterapeutas contempla nove questões com a utilização da Escala Likert, na qual, varia de um a cinco, sendo que, um é a “Pior Avaliação” e cinco é a “Melhor Avaliação” e, duas perguntas descritivas.

5.3.1 Avaliação do paciente

Primeiramente, será descrito como o paciente retratou a solução. Portanto, a questão um têm como intuito verificar se o paciente se sentiu desafiado com a complexidade do jogo e confiou nas suas capacidades para enfrentar o desafio. Desta maneira, o retorno dos pacientes para a pergunta “Você se sentiu desafiado pela complexidade do jogo, mas acreditou que suas capacidades lhe permitiram enfrentar o desafio”, pontuaram o valor 5 com desvio padrão igual a zero. Esta resposta representa que os mesmos concordam fortemente com a indagação. Desta forma, é possível averiguar que o jogo desafia o paciente dentro das limitações que o mesmo possui.

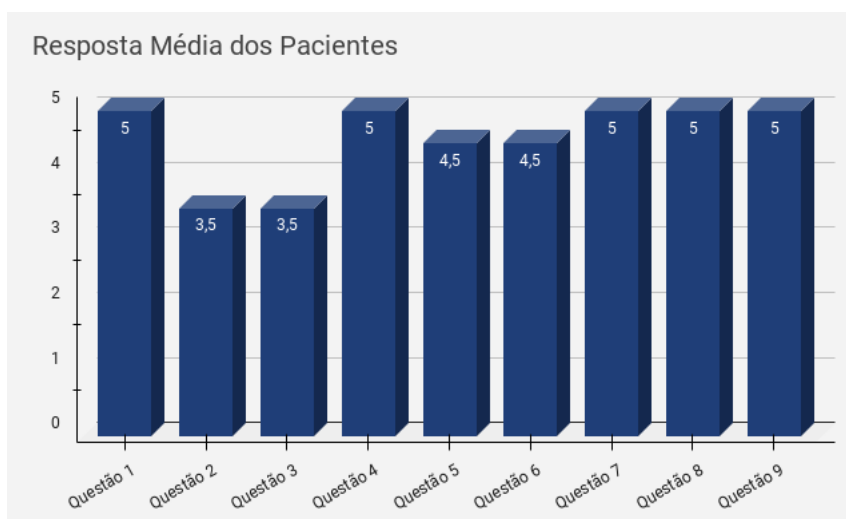
A segunda questão é “Foi claro para você como estava sendo seu desempenho durante o jogo”, nesta pergunta a resposta média dos pacientes foi no valor de 3.5, com desvio padrão igual a 0.5, demonstrando que a solução retorna informações aos pacientes, porém, não de maneira totalmente satisfatória. Para a terceira pergunta é “Você sentiu que estava em total controle da atividade” pontuando em 3.5 com desvio padrão igual a 0.5, retratando que os pacientes se sentem no comando do jogo, porém, não na sua totalidade.

Para o quarto questionamento, dado por “Você se sentiu totalmente confortável ao realizar a atividade” a resposta totalizou o valor de 5 com desvio padrão igual a zero, ou seja, isso indica que os movimentos necessários para executar a dinâmica do jogo não são exaustivos. Na quinta pergunta descrita por “Você se sentiu desconectado da noção de tempo” e o sexto questionamento, dado por “Você não precisou se esforçar para se manter concentrado na atividade” retornaram o valor para a resposta média em 4.5 com desvio padrão igual a 0.5, demonstrando que o paciente é induzido a perder a percepção do tempo a sua volta e, ficar com a atenção plena na realização da atividade. Assim como,

no sétimo questionamento que indaga “Você não estava preocupado com as considerações das pessoas ao seu redor” corrobora para inferência de que o paciente durante a partida consegue atingir o estado de *flow*. Tendo em vista que, a resposta média dos pacientes para essa pergunta é no valor de 5 com desvio padrão igual a zero.

Por conseguinte, os questionamentos oito e nove, que indagam o *feedback* do paciente com relação a experiência da prática executada e, se eles repetiriam em outros momentos a realização da sessão, foi retornado o valor 5 com desvio padrão igual a zero, ou seja, eles concordam fortemente. Logo, pode ser aferido que a solução ajuda e excita os indivíduos nas sessões de reabilitação. A Figura 42 demonstra a ilustração gráfica das respostas médias dadas pelos usuários no questionário.

Figura 42 – Média de respostas do questionário dos pacientes.

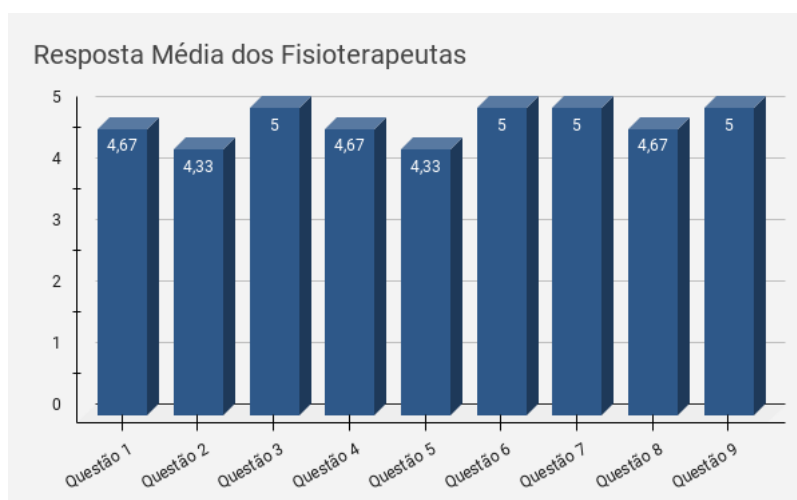


Fonte: Autora (2021).

5.3.2 Avaliação dos fisioterapeutas

O *feedback* dos profissionais fisioterapeutas do SRF são de extrema importância para o trabalho. Após o acompanhamento dos pacientes durante a sessão os fisioterapeutas responderam ao instrumento avaliativo do TennisGame Physio. Desta maneira, a Figura 43 representa a resposta média dos fisioterapeutas para as indagações realizadas.

Figura 43 – Média de respostas do questionário dos fisioterapeutas.



Fonte: Autora (2021).

Portanto, para o questionamento sobre a primeira impressão do sistema, se ele seria útil para as sessões de amputados, a resposta média dos fisioterapeutas é de quem sim, a solução é válida. Com relação ao *layout* da ferramenta, ela é intuitiva e de fácil acesso. Além disso, as informações coletadas pela solução são de suma importância para a avaliação da reabilitação do paciente.

Assim como, quando é indagado sobre os dados retornados ao final da partida e o histórico do paciente, é notório que a solução retorna as informações de forma satisfatório. Na sequência, ao serem questionados com relação ao desempenho do TennisGame Physio e, se ele é confiável os fisioterapeutas retornaram que a solução apresenta boa performance e confiabilidade.

No momento de indagação dos profissionais, com relação, a ferramenta ser motivacional para o paciente, o TennisGame Physio obteve um alta avaliação. Sendo considerada extremamente motivacional para o paciente, a fim de, instigar ele a praticar a sessão sem perceber os esforços que ele venha a desempenhar durante o jogo. O próximo

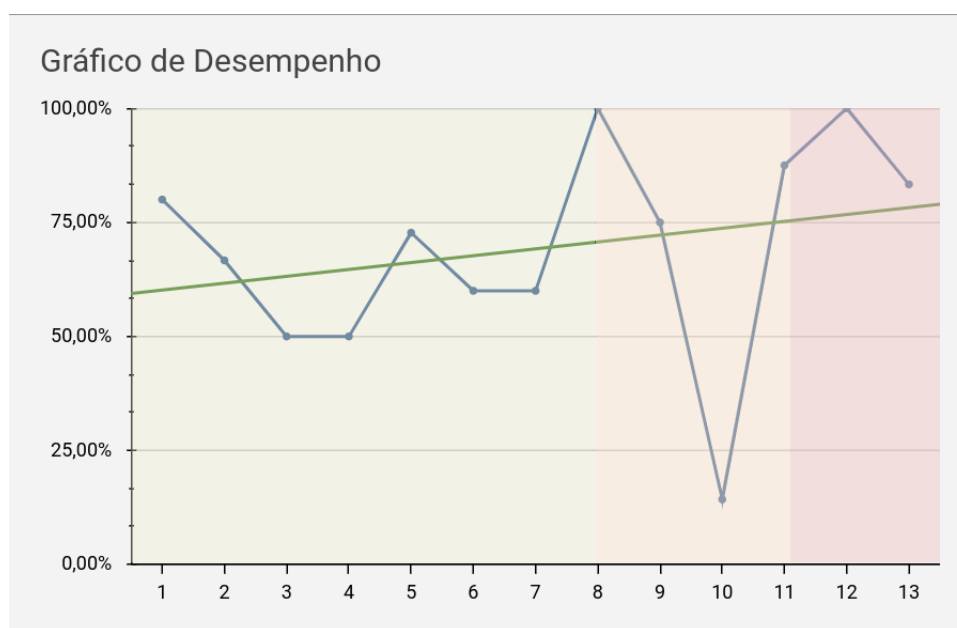
questionamento corrobora com a afirmação pois os fisioterapeutas notaram a motivação real do paciente durante a execução do simulador de partida de tênis de mesa.

Por fim, é averiguado se os dados fornecidos para o acompanhamento do paciente são válidos. Com relação ao retorno dos fisioterapeutas eles consideram as informações de extrema importância para o rastreamento do progresso do paciente ao longo da reabilitação. Ademais, os profissionais avaliaram com o valor máximo a utilização da solução.

5.4 Resultados

Portanto, com base nas avaliações efetuadas pelos pacientes e profissionais fisioterapeutas é possível averiguar se a presente solução atende aos objetivos propostos no início do desenvolvimento. Desta maneira, com os resultados obtidos pelo questionamento ao paciente, observou-se que é presumível, de que eles ao jogarem a partida de tênis de mesa atinjam o estado de *flow*. Isto é justificado pelos valores das questões que indagam o quão concentrado e desconectado da noção de tempo o indivíduo consegue alcançar. Além disso, na Figura 44 é possível averiguar a linha de tendência no gráfico de desempenho de um dos pacientes, que retrata o quão atento e instigado ele estava durante a sessão.

Figura 44 – Gráfico de desempenho com a linha de tendência do paciente.



Fonte: Autora (2021).

A Figura 44 também identifica, através das colorações, em quais modos de dificuldades as partidas estavam sendo executadas. No intervalo entre a primeira partida e a oitava a modalidade definida foi nível fácil, já nos valores entre a nona partida e a décima primeira, o indivíduo estava executando no modo médio. Por fim, o intervalo entre a décima primeira partida e décima terceira, o paciente estava no nível máximo de dificuldade, modalidade difícil. Desta forma, é possível evidenciar que mesmo com a dificuldade sendo elevada, o paciente se manteve concentrado e motivado durante a partida. Logo, a representação e a linha de tendência do gráfico colaboram para evidenciar que o paciente atingiu o estado de *flow* durante a utilização do simulador.

Ademais, os fisioterapeutas também contribuem com essa evidência, visto que, ao serem questionados se os seus pacientes demonstram que estão motivados as afirmativas são elevadas. Além disso, a ferramenta de acompanhamento dos pacientes, que é disponibilizada para os fisioterapeutas, se demonstra eficaz para que o profissional consiga realizar o rastreamento da evolução do paciente.

Resumidamente, a solução atende ao problema de pesquisa que era a criação de uma solução computacional que aplicasse metodologias de gamificação e, também, tivesse uma ferramenta de apoio aos profissionais fisioterapeutas. Além disso, o paciente consegue alcançar o estado de *flow* durante a sessão.

6 CONCLUSÕES

A proposta deste trabalho foi uma demanda do Serviço de Reabilitação Física do município de Bagé/RS que possuía um déficit de ferramentas de apoio a sessões de amputados, tanto de membro superior quanto de membro inferior. Portanto, o objetivo principal deste trabalho era a criação de uma solução computacional em *hardware* e *software* que utilizasse metodologias de gamificação para auxiliar as sessões de reabilitação, nas etapas pré-protética e protética.

Deste modo, foi realizada, primeiramente, a fundamentação teórica para obter maior familiaridade com os temas envolvidos na pesquisa, sendo assim, os trabalhos correlatos estudados foram de total valia no embasamento deste trabalho. Além disso, a definição dos requisitos em conjunto com os profissionais fisioterapeutas do SRF foi essencial para elaborar toda a modelagem descrita nesta solução. Ademais, a metodologia de desenvolvimento escolhida, método em cascata, foi também de extrema importância para a efetividade do andamento da solução.

Sendo assim, a primeira etapa da solução foi a criação da modelagem do sistema, *software*, da arquitetura e, também do jogo. Após, foram realizados os testes de funcionalidades dos elementos que constituem a solução. Inicialmente houve a coleta dos dados dos sensores acelerômetro e giroscópio, porém, no decorrer do desenvolvimento foi necessário optar apenas pelo uso do giroscópio. Tendo em vista que, o sensor acelerômetro é instável e não realiza a detecção de quando o paciente está com o *smartphone* parado, gerando anomalias na solução.

Além disso, foram realizados testes de comunicação entre *smartphone* e módulo HC-05, constituída pela comunicação *Bluetooth* e, também testes de comunicação serial entre placa do Arduino e *software* desenvolvido através da *Unity 3D*. Portanto, após a execução dos testes funcionais dos componentes utilizados, foram realizados a integração entre o nó sensor e o jogo, a partir disso, houve a apuração de diversos problemas que dificultaram o andamento da solução.

O principal problema enfrentado era a realização da movimentação e renderização correta da raquete virtual do jogo. Após muitos estudos e testes foi averiguado que as escolhas que deveriam ser tomadas eram: trocar o sensor de acelerômetro para giroscópio, reformular a lógica de calibragem, trocar o eixo x de coleta dos dados para o eixo z e, por fim, utilizar a metodologia do cálculo do fator de escala para rastrear o movimento do sensor com relação ao avatar do jogo.

Por fim, com o simulador de partida de tênis de mesa desenvolvido e a ferramenta de apoio aos fisioterapeutas criada e integrada na solução, foi necessário selecionar o grupo experimental de pacientes para executar os experimentos. Desta forma, apesar dos protocolos sanitários impostos pela disseminação do coronavírus, foi possível realizar os testes e validar a solução. Deste modo, é possível constatar que a proposta inicial é atendida de forma satisfatória através das conclusões referidas dos questionários dos pacientes e fisioterapeutas.

Conforme reportado pelos fisioterapeutas que, nos questionamentos descritivos evidenciaram que o sistema é de fácil instalação e manuseio. Além de ser motivador e, proporcionar aos pacientes de diferentes níveis de amputação, uma maneira de entretenimento durante as sessões.

Desta maneira, a solução implementada é efetiva e resolve o problema de pesquisa levantado. Além disso, a partir das avaliações realizadas pelos profissionais fisioterapeutas e pacientes, é averiguado que existe um grande potencial de a solução se tornar uma ferramenta recorrente nos processos de fisioterapia do Serviço de Reabilitação Física do município de Bagé/RS. Tendo em vista que, os fisioterapeutas relataram, por meio das respostas descritivas dos questionários, que a solução é de fácil utilização e, também, auxilia os pacientes a efetuar as sessões de reabilitação física de modo a tornar o processo mais estimulante para os indivíduos.

Contudo, existem aspectos a serem melhorados como a melhoria do relatório que é gerado para o profissional fisioterapeuta, além de inserir novos sensores a fim de coletar informações sobre a velocidade e distância percorrida pelo paciente. Ademais, não foi possível realizar a portabilidade da ferramenta do fisioterapeuta e o simulador de partida de tênis para a Raspberry Pi 3, dado que, atualmente não é possível executar a *Unity 3D* nesta plataforma. Sendo assim, a realização da compilação da solução para a Raspberry pode ser alocada para trabalhos futuros de continuação da presente solução.

Portanto, para concluir é importante evidenciar que o projeto desenvolvido foi aprovado pelo Conselho de Ética em Pesquisa da UNIPAMPA e, tem cadastro na Plataforma Brasil sob o número de CAAE: 51777521.5.0000.5323. Esse número é a identificação do projeto na plataforma de projetos que necessitam de aprovação de conselho de ética em pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Akbulut, A. et al. Immersive virtual reality games for rehabilitation of phantom limb pain. In: **2019 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO)**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–4.
- ATMEL. **Datasheet ATmega 2560**. 2014. Disponível em: <http://blog.eletrogate.com/wp-content/uploads/2018/08/Atmel-ATmega2560_datasheet.pdf>.
- BENEDETTO, K. M. D.; FORGIONE, M. C. R.; ALVES, V. L. R. Reintegração corporal em pacientes amputados e a dor-fantasma. **Acta fisiatrica**, v. 9, n. 2, p. 85–89, 2002.
- CAVALCANTE, R. S. et al. Uso de realidade virtual e jogo sério para condicionamento e impressão 3d de próteses de baixo custo. 2017.
- CIA, A. e. **Diferença entre os módulos bluetooth HC-05 e HC-06**. 2015. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/diferenca-modulos-bluetooth-hc-05-hc-06/>>.
- CORAZZA, P. V. Um aplicativo multiplataforma desenvolvido com Flutter e NoSQL para o cálculo da probabilidade de apendicite. **Mídia Eletrônica**, 2018.
- CSIKSZENTMIHALY, M. **A descoberta do fluxo**. [S.l.]: Editora Rocco, 1999. 166 p.
- CSIKSZENTMIHALYI, M. **Flow: The Psychology of Optimal Experience**. [S.l.]: Harper Perennial, 2008. 336 p.
- CSIKSZENTMIHALYI, M.; SELEGA, C. I. **Optimal experience: Psychological studies of flow in consciousness**. [S.l.]: United Kingdom: Cambridge University Press, 1988. 432 p.
- DECI, E. L.; RYAN, R. M. The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. **Psychological inquiry**, Taylor & Francis, v. 11, n. 4, p. 227–268, 2000.
- DHAWAN, D.; BARLOW, M.; LAKSHIKA, E. Prosthetic rehabilitation training in virtual reality. In: IEEE. **2019 IEEE 7th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)**. [S.l.], 2019. p. 1–8.
- DOMINGUES, D. O sentido da gamificação. **Gamificação em debate. São Paulo: Blucher**, p. 212, 2018.
- FERREIRA, G. G.; SOUZA, L. A. D.; CALAZANS, M. C. L. R. Identificação das causas de amputação de membros nas estratégias de saúde da família do município de Santa Fé do Sul - SP. **Revista Funec Científica - Enfermagem**, v. 1, n. 1, p. 65–71, 2017.
- FILHO, P. P. R. **Microcontroladores PIC - Linguagem C utilizando CCS para leigos**. [S.l.]: Instituto Federal de Educação, ciência e tecnologia do Ceará - IFCE, 2014. 208 p.
- FILHO, W. de P. P. **Engenharia de Software: Fundamentos, Métodos e Padrões**. 3. ed. [S.l.]: Editora LTC, 2009. 260 p.
- FITZPATRICK, M. C. The psychologic assessment and psychosocial recovery of the patient with an amputation. **Clinical Orthopaedics and Related Research®**, LWW, v. 361, p. 98–107, 1999.

FREITAS, C. C. P. E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. [S.l.]: Editora Feevale, 2013. 277 p.

GABARRA, L. M.; CREPALDI, M. A. Aspectos psicológicos da cirurgia de amputação. **Aletheia**, Universidade Luterana do Brasil, n. 30, p. 59–72, 2009.

GOUVEIA, C. H. A. **Membros inferiores: ossos e articulações**. 2015. Notas de aula do Departamento de Anatomia, ICB-USP.

GRANDE, A. A. B. D.; GALVÃO, F. R. D. O.; GONDIM, L. C. A. Reabilitação virtual através do videogame: relato de caso no tratamento de um paciente com lesão alta dos nervos mediano e ulnar. **Revista Acta fisioterápica**, v. 18, n. 3, p. 157–162, 2011.

GREENES, R. A.; SHORTLIFFE, E. H. Medical informatics: an emerging academic discipline and institutional priority. **Jama**, American Medical Association, v. 263, n. 8, p. 1114–1120, 1990.

JEREMY, A. P. et al. Validation of measures from the smartphone sway balance application: a pilot study. **International journal of sports physical therapy**, The Sports Physical Therapy Section of the American Physical Therapy Association, v. 9, n. 2, p. 135, 2014.

KAPANDJI, A. I. **Fisiologia articular: esquemas comentados de mecânica humana**. 5. ed. [S.l.]: Médica Panamericana, 2000. 307 p.

KERSCHBAUMER, R. **Microcontroladores**. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2018/02/Apostila-M>>

KOVAČ, I. et al. Rehabilitation of lower limb amputees. **Periodicum biologorum**, Hrvatsko prirodoslovno društvo, v. 117, n. 1, p. 147–159, 2015.

KRUG, S. **Não me faça pensar!:** Uma abordagem de bom senso à usabilidade na web. 2. ed. [S.l.]: Editora Alta Books, 2008. 219 p.

LIMA, B. S. de; MEJIA, D. P. M. A importância da fisioterapia no processo de protetização. ca. 2013.

MARCHI, A. C. B. D. Tecnologias computacionais para o monitoramento e a reabilitação de pessoas com doenças crônicas não transmissíveis. **Revista Brasileira de Ciências do Envelhecimento Humano**, v. 16, n. 1, p. 13–17, 2019.

MARQUES, A. P.; KONDO, A. A fisioterapia na osteoartrose: uma revisão da literatura. **Rev Bras Reumatol**, v. 38, n. 2, p. 83–90, 1998.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. [S.l.]: Editora Novatec, 2011. 456 p.

MENEZES, E. L. da S. E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 3. ed. [S.l.: s.n.], 2001. 121 p.

Ministério da Saúde. **Diretrizes de atenção à pessoa amputada**. [S.l.], 2013.

MONK, S. **Programando o Raspberry Pi: primeiros passos com Python**. [S.l.]: Editora Novatec, 2013. 16 p.

PATSKO, L. F. **Tutorial, aplicações, funcionamento e utilização de sensores**. 2006. Disponível em: <https://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf>.

PATTERSON, D. R. et al. Virtual reality hypnosis for pain associated with recovery from physical trauma. **Intl. Journal of Clinical and Experimental Hypnosis**, Taylor & Francis, v. 58, n. 3, p. 288–300, 2010.

PENIDO, R. S. T. Édilus de C. C. **Microcontroladores**. [S.l.]: Instituto Federal de Educação, ciência e tecnologia de Minas Gerais - IFMG Ouro Preto, 2013. 80 p.

RAMÍREZ, L. G. C.; JIMÉNEZ, G. S. A.; NO, J. M. C. **Sensores y Actuadores: Aplicaciones con Arduino**. [S.l.]: Grupo Editorial Patria, 2014.

REIS, G. D.; JÚNIOR, A. J. C.; CAMPOS, R. D. S. Perfil epidemiológico de amputados de membros superiores e inferiores atendidos em um centro de referência. **Revista Eletrônica Saúde e Ciência**, v. 2, n. 2, p. 52–62, 2012.

RS Components. **Datasheet Raspberry Pi 3 Model B**. 2015. Disponível em: <https://components101.com/asset/sites/default/files/component_datasheet/Raspberry%20Pi%203%20Datasheet.pdf>.

SCHWEITZER, P. Fisioterapia ortopédica e medicina ortopédica. **Fisioterapia Brasil**, v. 5, p. 375, 10 2004.

SEIDEL Álysson R. **Instrumentação Aplicada**. [S.l.]: Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec Brasil., 2011. 109 p.

SILVA, R. T. A. da. **Manual de Orientação para os professores: conhecendo os sensores disponíveis nos smartphones**. S/D. 15 p.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 9. ed. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2011. 547 p.

SOUZA, P. A. d. C. S. Dirce Emília da C. **Procedimento Operacional Padrão: Fisioterapia Ambulatorial em Amputado de Membro Inferior**. Avenida Getúlio Guaritá. Uberaba, Minas Gerais, 2015.

VERGOUWEN, J. M. et al. Motion rehab 3d ave v2: um novo vr-exergame para fisioterapia motora. In: SBC. **Anais Estendidos do XXII Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada**. [S.l.], 2020. p. 15–19.

VIDAL, V. **Módulos Bluetooth HC05 e HC06 para comunicação com dispositivos móveis com Arduino**. 2017. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/modulos-bluetooth-hc05-e-hc06-para-comunicacao-com-dispositivos-moveis-com-arduino/>>.

WAY, L. W.; DOHERTY, G. M. **Current: Surgical Diagnosis Treatment**. 11. ed. [S.l.]: New York: Lange Medical Books, 2003. 307 p.

WENDLING, M. **Sensores**. [S.l.]: Universidade Estadual Paulista - UNESP, 2010.

WINKLER, F. **Introduction to Unity 3D**. 2013. Disponível em: <https://web.ics.purdue.edu/~fwinkler/AD41700_F13/AD41700_Unity3D_workshop01_F13.pdf>.

WYATT, J.; LIU, J. Basic concepts in medical informatics. **Journal of Epidemiology & Community Health**, BMJ Publishing Group Ltd, v. 56, n. 11, p. 808–812, 2002.

APÊNDICE A – DOCUMENTO DE REQUISITOS DO SISTEMA

**Documento de Requisitos:
TennisGame Physio**

Versão 02 - Setembro, 2021.

Introdução

Este documento especifica o projeto TennisGame, fornecendo as informações necessárias para o projeto e implementação, sendo possível a realização de testes do sistema. Neste documento serão detalhadas informações sobre os requisitos do usuário, e os requisitos funcionais e não funcionais da solução e, posteriormente serão elencados em uma tabela os níveis de prioridades dos requisitos funcionais e não-funcionais.

Método de Obtenção

O levantamento dos requisitos foi efetuado através de entrevistas abertas, em que não há uma lista de perguntas pré-definidas, com os profissionais fisioterapeutas do Serviço de Reabilitação Física de Bagé/RS.

Organização do documento

O documento está dividido em três tópicos principais: requisitos do usuário que são declarações do que o sistema deverá oferecer aos seus usuários e restrições com as quais este deve operar; e, os requisitos funcionais que são declarações de serviços que o sistema deve fornecer, de como o sistema deve reagir a entradas específicas e de como se comportar em determinadas situações, e requisitos não-funcionais da solução que são restrições aos serviços ou funções oferecidos pela solução.

Além disso, há uma tabela que estabelece três níveis de prioridades para os requisitos, adotando como classificação a seguinte:

- Essencial: é o requisito, no qual, o sistema não entra em funcionamento. Ele é imprescindível.
- Importante: é o requisito que o sistema entra em funcionamento sem ele, porém, não de forma satisfatória. Eles devem ser implementados, mas, caso não for possível a solução funcionará sem eles.
- Desejável: é o requisito que não compromete as funcionalidades básicas do sistema, ou seja, o sistema poderá funcionar de forma satisfatória sem a sua implementação. Esses requisitos podem ser alocados em versões posteriores do sistema como sendo uma evolução do sistema, caso o tempo de implementação seja insuficiente.

1. Descrição dos requisitos de usuário

- a. A aplicação solicitará antes da sessão dados do paciente, como, por exemplo, o nome, nível de amputação e, dados físicos, por exemplo, batimentos cardíacos e pressão arterial. Ao final da sessão será novamente solicitado os dados físicos do usuário.
- b. Durante a sessão o sistema irá capturar dados do paciente durante o jogo, sendo que para pacientes de amputações de membro superior serão capturados a precisão das jogadas, número de acertos e erros e, em pacientes de amputações de membro inferior será capturado o tempo decorrido no jogo.
- c. O sistema terá cadastro de pacientes e de profissionais fisioterapeutas.
- d. Para cada paciente o profissional fisioterapeuta poderá acompanhar o desenvolvimento do paciente durante as sessões.

2. Requisitos funcionais e não-funcionais

a. Requisitos funcionais

- i. Incluir/excluir paciente de cadastro
- ii. Incluir/excluir profissional fisioterapeuta
- iii. Capturar dados físicos dos pacientes, sendo eles: pressão arterial, batimentos cardíacos, oxigenação do sangue
- iv. Fisioterapeuta realiza a configuração da partida para o paciente, com as opções de: tempo de jogo, número de acertos e fases.
- v. Capturar dados de desempenho do paciente durante a partida, como: número de acertos, número de erros, precisão do rebote, duração da partida.
- vi. Consulta do histórico do paciente nas sessões
- vii. Geração de relatório do desempenho do paciente
- viii. Login no sistema sem senha

b. Requisitos não funcionais

- i. O sistema deve ser implementado utilizando três linguagens de programação: C#, C, Dart.
- ii. O protótipo do jogo precisa ser portátil para dispositivos como *Raspberry Pi 3 Model B*.
- iii. O consumo de processamento do sistema portátil é restrito a até 1 GB de Memória RAM, sendo que, esta memória é compartilhada com o processamento da CPU.
- iv. O armazenamento do software deve ser feito, necessariamente, em um cartão MicroSD de no mínimo 8 GB de armazenamento.
- v. O Sistema Operacional embarcado na *Raspberry Pi 3*, obrigatoriamente, deve ser um Sistema Linux.
- vi. O protótipo da aplicação, quando executado na *Raspberry Pi 3*, requer que a solução seja compilada para Linux.
- vii. Para coletar os movimentos do jogo deve ser utilizado um suporte de braçadeira para celular.
- viii. Os gráficos do jogo precisam ser construídos utilizando ferramentas gratuitas como: *inkscape* e *gimp*.
- ix. O aplicativo de coleta de dados precisa ser executado em Smartphones Android.
- x. O sistema deverá se comunicar com o Banco de Dados.

3. Tabela de prioridade dos requisitos funcionais e não-funcionais

	Essencial	Importante	Desejável
2.a.i	•		
2.a.ii	•		
2.a.iii		•	
2.a.iv	•		
2.a.v		•	
2.a.vi		•	
2.a.vii			•
2.a.viii	•		
2.b.i	•		
2.b.ii			•
2.b.iii			•
2.b.iv			•
2.b.v			•
2.b.vi			•
2.b.vii	•		
2.b.viii	•		
2.b.ix	•		
2.b.x		•	

APÊNDICE B – DOCUMENTO DE CASOS DE USO

**Documento de Casos de Uso:
TennisGame Physio**

Versão 01 - Março, 2021.

Introdução

Este documento especifica o projeto TennisGame, fornecendo as informações necessárias para o projeto e implementação, sendo possível a realização de testes do sistema. Neste documento serão detalhadas informações sobre os casos de uso, primeiramente de um modo específico elencando todos os casos de uso identificados por seu título, uma breve descrição do que é este caso de uso, os atores envolvidos, a pré-condição que são as condições para que o caso de uso possa ser executado, pós-condição que o sistema estará após a execução do caso de uso e, o fluxo de tarefas que são os passos do ator sobre o sistema.

Organização do documento

O documento está dividido em duas partes: na primeira estão elencados onze casos de uso descrevendo com detalhes cada uma das possíveis ações dos atores para com o sistema e o seu respectivo diagrama UML de casos de uso.

Na segunda etapa são descritos os casos de uso referentes ao nó sensor, sistema e aos usuários, de uma maneira mais sucinta.

A elaboração dos diagramas e dos casos de uso foi realizada com base na descrição dos requisitos apresentados no Apêndice A, que expõem as funcionalidades do sistema.

B.1 Definição dos casos de uso

Nesta seção serão apresentados as descrições dos casos de uso da solução e, ao final da seção será demonstrado o diagrama de casos de usos UML. Foram desenvolvidos com base nas descrições dos requisitos do Apêndice A.

[UC 01] - Criar conexão com o módulo Bluetooth Descrição: Esse caso de uso serve para o usuário(paciente) realizar a conexão via Bluetooth do Smartphone com o módulo HC-05.

Atores envolvidos: Pacientes.

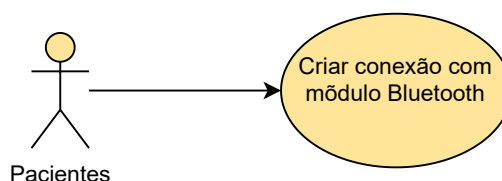
Pré-condição: O usuário deve ter instalado no seu Smartphone Android o aplicativo de coleta de dados dos sensores.

Pós-condição: Depois da conexão o usuário será direcionado para a próxima tela do sistema.

Fluxo de tarefas: Conexão Bluetooth

1. Na tela inicial do aplicativo Android o usuário irá escolher a opção “Jogar”.
2. Na nova tela será listado os dispositivos Bluetooth disponíveis.
3. Nesta tela o usuário seleciona a opção “Conectar” referente ao Módulo Bluetooth HC-05.
4. O usuário será direcionado para uma nova tela de aguardo do início da partida.
5. O caso de uso está finalizado.

Figura 45 – Representação em um diagrama UML do caso de uso 01.



Fonte: Autora (2021).

[UC 02] Cadastrar profissionais de fisioterapia

Descrição: Este caso de uso serve para os fisioterapeutas criarem um cadastro no sistema.

Atores envolvidos: Fisioterapeutas

Pré-condição: O fisioterapeuta não pode ter cadastro ativo no sistema.

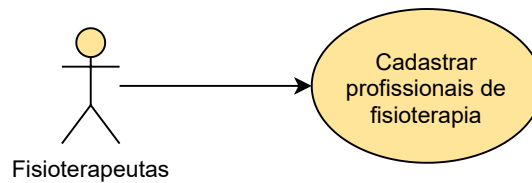
Pós-condição: Depois da realização do cadastro, o fisioterapeuta poderá cadastrar

seus pacientes e acessar históricos de sessões dos mesmos.

Fluxo de tarefas: Realizar cadastro de fisioterapeuta no sistema

1. Inserir nome completo.
2. O fisioterapeuta será direcionado para uma nova tela de aviso de conclusão de cadastro.
3. O caso de uso está finalizado.

Figura 46 – Representação em um diagrama UML do caso de uso 02.



Fonte: Autora (2021).

[UC 03] - Login de profissionais de fisioterapia

Descrição: Este caso de uso serve para os fisioterapeutas logarem no sistema.

Atores envolvidos: Fisioterapeutas

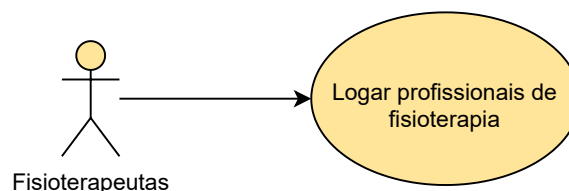
Pré-condição: O fisioterapeuta precisa ter cadastro ativo no sistema.

Pós-condição: Depois da realização do login, o fisioterapeuta poderá cadastrar seus pacientes e acessar históricos de sessões dos mesmos.

Fluxo de tarefas: Realizar login de fisioterapeuta no sistema

1. Pesquisa e seleciona o seu nome na lista de fisioterapeutas cadastrados.
2. O fisioterapeuta será direcionado para a tela de listagem de pacientes.
3. O caso de uso está finalizado.

Figura 47 – Representação em um diagrama UML do caso de uso 03.



Fonte: Autora (2021).

[UC 04] - Cadastro de pacientes

Descrição: Os fisioterapeutas criam cadastro do paciente no sistema.

Atores envolvidos: Fisioterapeutas

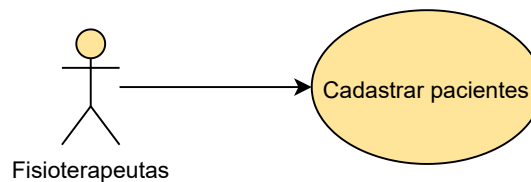
Pré-condição: O profissional de fisioterapia necessita ter um cadastro no sistema e, precisa estar logado.

Pós-condição: Os profissionais de fisioterapia poderão realizar o acompanhamento da evolução do paciente durante as sessões.

Fluxo de tarefas: Criar cadastro de paciente

1. O fisioterapeuta precisa estar logado no sistema.
2. Na tela de listagem de pacientes, o fisioterapeuta irá selecionar a opção “Criar cadastro de paciente”.
3. Na tela de cadastro o fisioterapeuta deverá inserir os seguintes dados do paciente:
 1. Nome completo do paciente
 2. Nível da amputação
 3. Idade
4. O fisioterapeuta será direcionado para uma tela de cadastro concluído.
5. O caso de uso está finalizado.

Figura 48 – Representação em um diagrama UML do caso de uso 04.



Fonte: Autora (2021).

[UC 05] - Login de paciente

Descrição: O fisioterapeuta acessa a listagem de seus pacientes e, seleciona o respectivo paciente da sessão.

Atores envolvidos: Fisioterapeutas

Pré-condição: O paciente precisa ter cadastro no sistema.

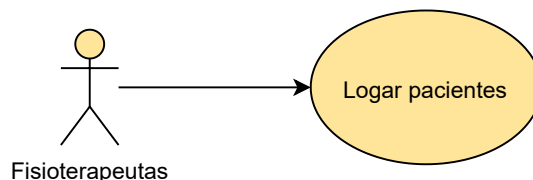
Pós-condição: O fisioterapeuta poderá coletar os dados físicos do paciente e, o mesmo iniciar a partida de tênis.

Fluxo de tarefas: Login de paciente

1. O fisioterapeuta precisa estar logado no sistema.
2. Na listagem de pacientes, pesquisa o nome do paciente e o seleciona.

3. O fisioterapeuta será direcionado para uma tela de opções de ações.
4. O caso de uso está finalizado.

Figura 49 – Representação em um diagrama UML do caso de uso 05.



Fonte: Autora (2021).

[UC 06] - Coletar dados físicos do paciente

Descrição: O fisioterapeuta realizará uma coleta de dados físicos do paciente, antes e após a sessão.

Atores envolvidos: Fisioterapeutas.

Pré-condição: O fisioterapeuta precisa estar logado e, o paciente precisa ter cadastro no sistema.

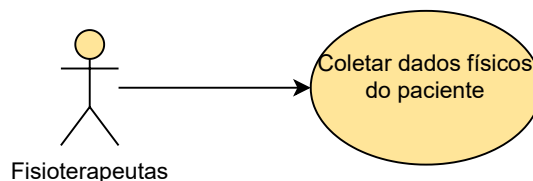
Pós-condição: Os dados coletados serão utilizados para o fisioterapeuta verificar como o paciente reagiu à sessão, utilizando a técnica de anamnese.

Fluxo de tarefas: Realização da coleta de dados do paciente

1. O fisioterapeuta precisa estar logado no sistema.
2. Na tela de listagem dos pacientes, realizar a procura e seleção do paciente.
3. Selecionar a opção de “Inserir dados físicos”.
4. O fisioterapeuta será direcionado para a tela de preenchimento dos dados.
5. Inserir data da ocorrência da sessão.
6. Verificar a pressão arterial do paciente.
7. Inserir no campo respectivo na tela do sistema.
8. Verificar os batimentos cardíacos do paciente.
9. Inserir no campo respectivo na tela do sistema.
10. Verificar a oxigenação do sangue do paciente.
11. Inserir no campo respectivo na tela do sistema.
12. Se tiver alguma observação sobre o estado do paciente, inserir no campo respectivo na tela do sistema.
13. Ao concluir, o fisioterapeuta será redirecionado para a tela principal do jogo.

14. O caso de uso está finalizado.

Figura 50 – Representação em um diagrama UML do caso de uso 06.



Fonte: Autora (2021).

[UC 07] - Acessar histórico das sessões dos pacientes

Descrição: O profissional de fisioterapia irá visualizar o histórico das sessões de cada paciente individualmente.

Atores envolvidos: Fisioterapeutas.

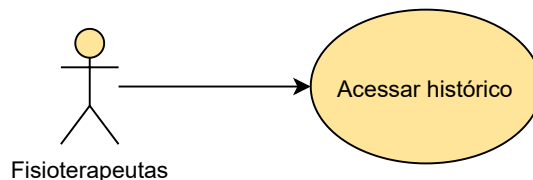
Pré-condição: O fisioterapeuta precisa ter cadastro no sistema e, o paciente ter tido pelo menos uma sessão no jogo.

Pós-condição: Ao visualizar o desempenho do paciente, o fisioterapeuta poderá tomar uma decisão com relação àquele paciente em específico.

Fluxo de tarefas: Visualização do histórico da sessão de um paciente

1. O fisioterapeuta precisa estar logado no sistema.
2. Na tela de listagem dos pacientes, realizar a procura e seleção do paciente.
3. Selecionar a opção de “Visualizar histórico de sessões”.
4. O fisioterapeuta será direcionado para uma tela com a visualização de todas as sessões e seus respectivos dados.
5. O caso de uso está finalizado.

Figura 51 – Representação em um diagrama UML do caso de uso 07.



Fonte: Autora (2021).

[UC 08] - Configurar modo da partida

Descrição: O fisioterapeuta seleciona entre as opções de modo de jogo qual se adapta melhor para um determinado paciente.

Atores envolvidos: Fisioterapeutas

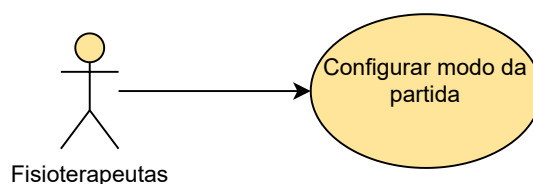
Pré-condição: O fisioterapeuta já coletou os dados físicos do paciente e, posicionou corretamente o smartphone junto a ele.

Pós-condição: O paciente poderá iniciar a partida de tênis.

Fluxo de tarefas:

1. Selecionar a opção desejada para o modo de jogo. Podendo ser por: tempo de jogo, número de acertos ou fases.
2. O fisioterapeuta será direcionado para a tela principal do jogo.
3. O caso de uso está finalizado.

Figura 52 – Representação em um diagrama UML do caso de uso 08.



Fonte: Autora (2021).

[UC 09] - Iniciar partida

Descrição: O paciente iniciará a sessão utilizando o jogo.

Atores envolvidos: Pacientes.

Pré-condição: O fisioterapeuta já coletou os dados físicos do paciente e, o smartphone está posicionado corretamente junto ao paciente.

Pós-condição: O paciente estará em uma sessão de fisioterapia que lhe induzirá a um estado de flow.

Fluxo de tarefas: Iniciar partida do simulador

1. O paciente está com o smartphone corretamente posicionado.
2. Na tela principal do jogo o paciente seleciona a opção “Iniciar partida”.
3. O caso de uso está finalizado.

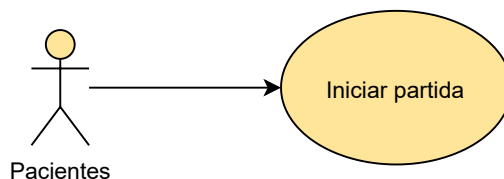
[UC 10] - Movimentação do elemento do jogo

Descrição: Neste caso de uso o paciente movimentará ou seu membro inferior, ou membro superior, para realizar a movimentação da raquete do jogo.

Atores envolvidos: Pacientes

Pré-condição: O smartphone precisa estar posicionado corretamente junto ao paciente e o jogo já ter sido iniciado.

Figura 53 – Representação em um diagrama UML do caso de uso 09.



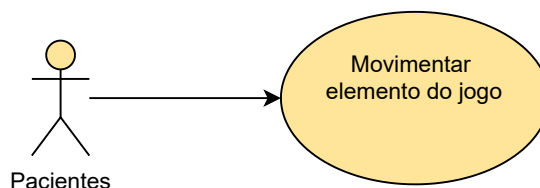
Fonte: Autora (2021).

Pós-condição: O paciente estará sendo induzido a um estado de flow, fazendo com que se concentre no movimento e, não perceba algum tipo de desconforto.

Fluxo de tarefas: Movimentar elemento do jogo

1. O jogo já está em andamento.
2. O paciente precisa movimentar o seu membro (inferior ou superior) na direção do eixo x, tanto para a direita quanto para a esquerda, fazendo com que a raquete do jogo se movimente.
3. Para o paciente rebater a bola de tênis exercendo uma maior força sobre ela, basta realizar a inclinação do membro(inferior ou superior) no eixo z, fazendo com que a raquete se incline na direção indicada.
4. O caso de uso está finalizado.

Figura 54 – Representação em um diagrama UML do caso de uso 10.



Fonte: Autora (2021).

[UC 11] - Concluir partida Descrição: A partida é concluída ou interrompida, pelo paciente podendo ser o tempo pré-estabelecido ter sido concluído ou ter tido alguma fadiga durante a sessão.

Atores envolvidos: Pacientes e fisioterapeutas.

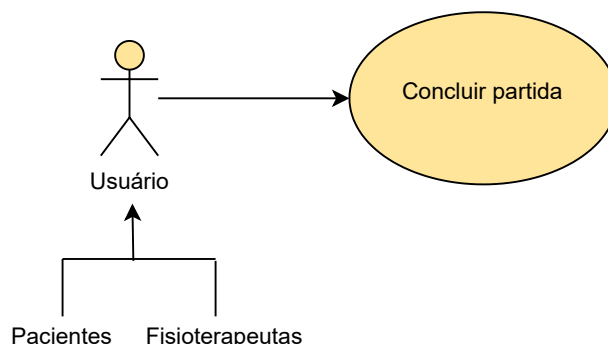
Pré-condição: O paciente está jogando.

Pós-condição: O fisioterapeuta irá coletar os dados físicos do paciente após a sessão.

Fluxo de tarefas: Interromper a partida

1. O paciente está jogando.
2. O paciente seleciona a opção de pausar partida ou o fisioterapeuta conclui a partida.
3. O caso de uso está finalizado.

Figura 55 – Representação em um diagrama UML do caso de uso 11.



Fonte: Autora (2021).

B.2 Representação dos relacionamentos dos casos de uso

Nesta seção é demonstrado o relacionamento dos principais casos de uso da solução TennisGame Physio, portanto, na Figura 56 é apresentado o Diagrama UML da solução.

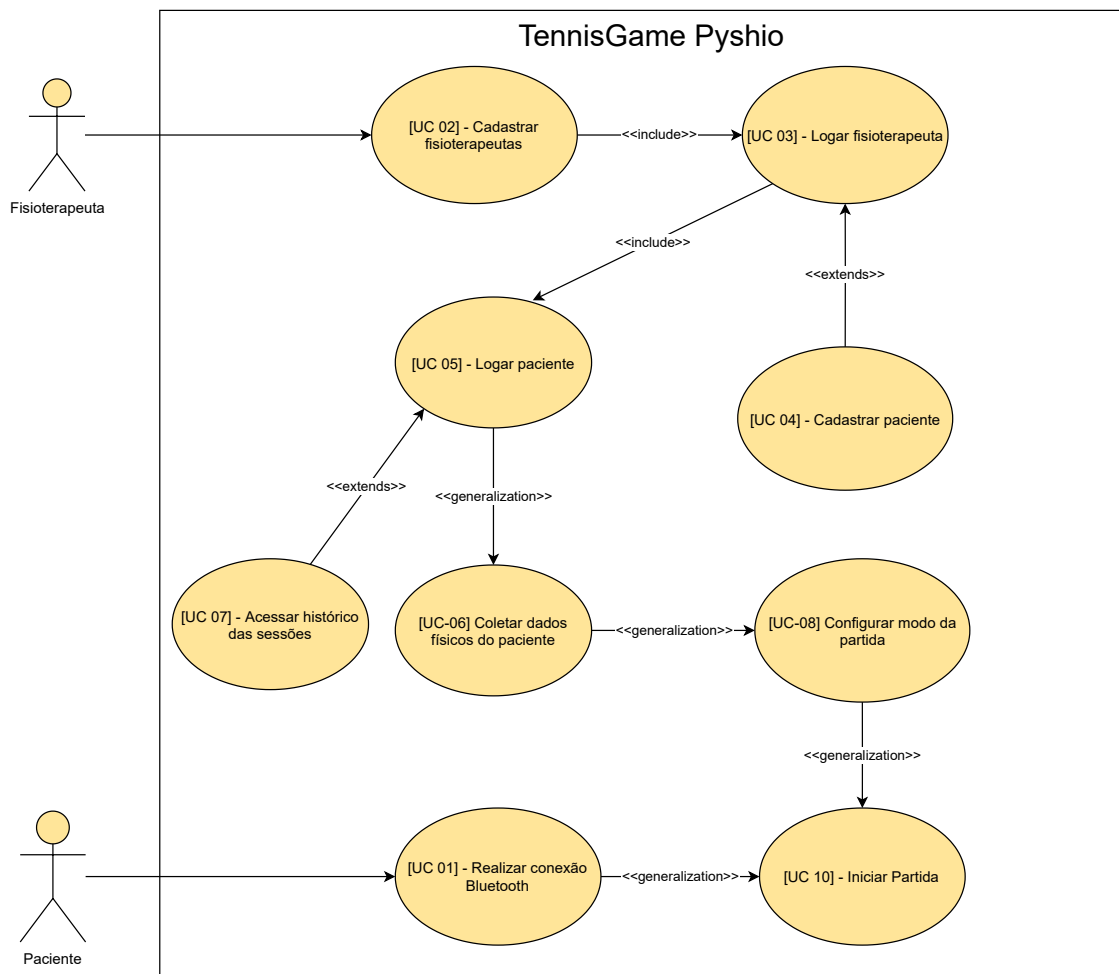
B.3 Casos de uso: nó sensor, usuário e sistema

Neste tópico serão apresentados três casos de uso com uma visão mais ampla das ações dos atores: nó sensor, usuário e sistema. Elas são descrições mais objetivas do que as mencionadas na sessão anterior.

B.3.1 Nó sensor

Para desenvolver o nó sensor, que é composto pelo smartphone que realiza a conexão dos dados e, também a plataforma de prototipação Arduino com o módulo Bluetooth, foi criado um diagrama UML, apresentado na Figura 57, onde o ator é o próprio sensor. Desta forma, as ações definidas foram: realizar conexão, coletar os dados,

Figura 56 – Representação do diagrama UML de casos de uso da solução TennisGame Physio.



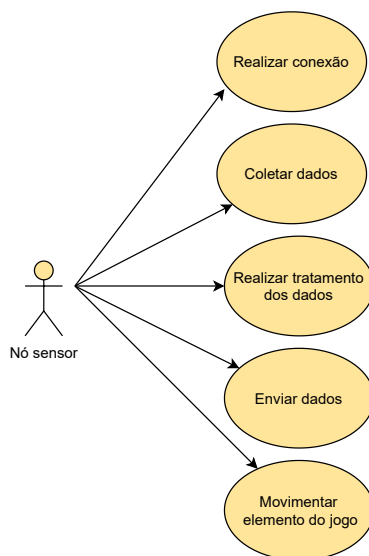
Fonte: Autora (2021).

realizar tratamento dos dados, enviar as informações coletadas para o módulo HC-05 do microcontrolador e, movimentar o elemento do jogo.

B.3.2 Sistema

Para elucidar o sistema que é compreendido como sendo o jogo desenvolvido utilizando a Unity 3D que rodará em um *desktop* ou Raspberry, foi criado outro diagrama UML, demonstrado na Figura 58, onde o ator é o sistema, exemplificando as principais ações que o sistema deve fazer: iniciar sessão, criar cadastro, coletar dados, armazenar dados, apresentar dados e gerar relatórios.

Figura 57 – Representação em um diagrama UML do caso de uso do nó sensor.

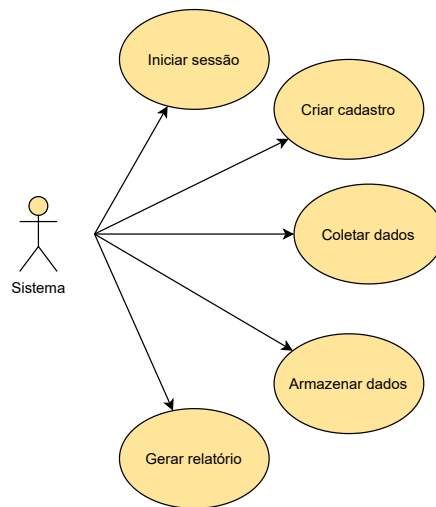


Fonte: Autora (2021).

B.3.3 Usuário

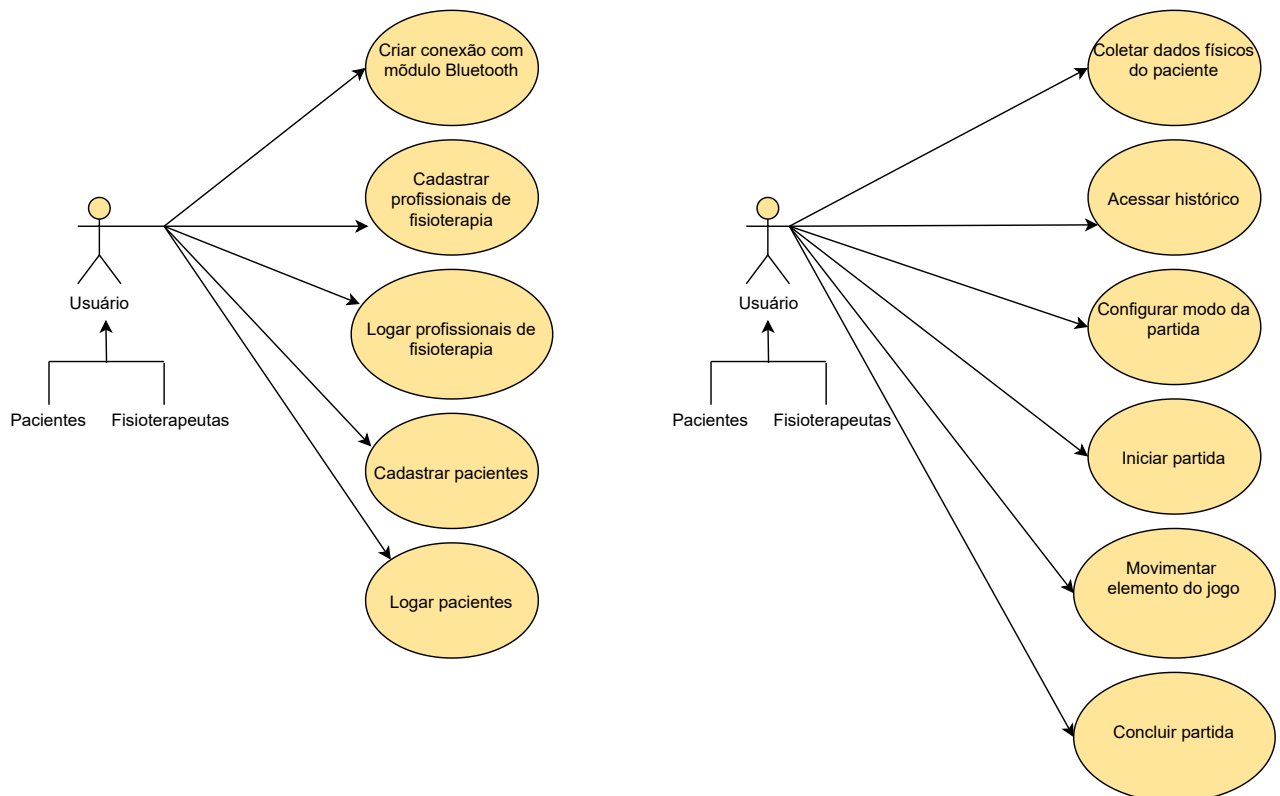
Para demonstrar as ações do usuário sobre o sistema, foi criado outro diagrama UML apresentado na Figura 59, que representa de forma condensada as atuações do usuário: criar conexão com módulo, cadastrar fisioterapeutas, logar fisioterapeutas, cadastrar pacientes, logar paciente, coletar dados físicos do paciente, acessar histórico, configurar a partida, iniciar partida, movimentar elemento do jogo e concluir partida.

Figura 58 – Representação em um diagrama UML do caso de uso do sistema.



Fonte: Autora (2021).

Figura 59 – Representação em um diagrama UML do caso de uso do usuário.



Fonte: Autora (2021).

APÊNDICE C – DOCUMENTO DE PROTOTIPAÇÃO DO SOFTWARE

**Documento de Prototipação da Ferramenta do Fisioterapeuta:
TennisGame Physio**

Versão 01 - Abril, 2021.

Introdução

Este documento especifica como se dá o protótipo inicial do *software* TennisGame Physio.

Organização do documento

Primeiramente serão apresentados os *layouts* de cada tela e a descrição de suas funcionalidades, por fim, um diagrama de navegação entre as telas. É importante ressaltar ser apenas um protótipo inicial e, o mesmo pode sofrer alterações no decorrer do desenvolvimento da proposta.

C.1 Prototipação das telas

Nesta seção serão apresentados os *layouts* de cada tela e a descrição das suas funcionalidades. Portanto, Tabela 5 exemplifica as funcionalidades de cada uma das telas.

Tabela 5 – Descrição das funcionalidades das telas

Tela	Figura	Descrição
01	60	Tela inicial do software, nela o fisioterapeuta dará início a sessão.
02	61	Login do fisioterapeuta, se possui cadastro seleciona nome na lista, caso contrário, clicar na opção “Não possui cadastro”. Outra ação possível é a exclusão de algum fisioterapeuta da lista, clicando em “x” para realizar a exclusão.
03	62	Cadastro de Fisioterapeuta inserindo apenas o seu nome
04	63	O fisioterapeuta abre a ficha de cadastro do paciente, selecionando o nome do mesmo, caso não possua cadastro é realizado clicando em “Não possui cadastro”.
05	64	Local onde o fisioterapeuta realiza o cadastro do paciente, inserindo o seu nome, nível da amputação, idade e sexo do paciente.
06	65	Mostrada para quando é concluído o cadastro do fisioterapeuta ou paciente.
07	66	Fisioterapeuta é direcionado após o cadastro ou login de paciente.
08	67	São salvos os dados físicos do paciente antes e após a conclusão de uma sessão.
09	68	Iniciar a partida de tênis ou acessar o histórico das sessões pelo fisioterapeuta.
10	69	Responsável pela configuração do modo da partida pelo fisioterapeuta, está tela antecede o jogo de fato.
11	70	São apresentados os dados do histórico de partidas do paciente, podendo ser possível gerar um relatório com gráficos de desempenho do paciente.
12	71	Tela apresentada quando a partida configurada pelo fisioterapeuta é concluída podendo ser configurada uma nova ou realizar a conclusão da partida.

Fonte: Autora (2021)

Figura 60 – Demonstração da Tela 01.



Fonte: Autora (2021).

Figura 61 – Demonstração da Tela 02.



Fonte: Autora (2021).

Figura 62 – Demonstração da Tela 03.

CADASTRO - FISIOTERAPEUTA

DIGITE SEU NOME

CADASTRAR

Fonte: Autora (2021).

Figura 63 – Demonstração da Tela 04

LOGIN - PACIENTE

SELECIONE O NOME DO PACIENTE

Fulano	X
Fulano	X
Fulano	X
Fulano	X
Fulano	X
Fulano	X

NÃO POSSUI CADASTRO

Fonte: Autora (2021)

Figura 64 – Demonstração da Tela 05.

CADASTRO - PACIENTE

NOME

NÍVEL DA AMPUTAÇÃO

IDADE

SEXO

CADASTRAR


Fonte: Autora (2021).

Figura 65 – Demonstração da Tela 06.



Fonte: Autora (2021).

Figura 66 – Demonstração da Tela 07.



Acessar o histórico de sessões

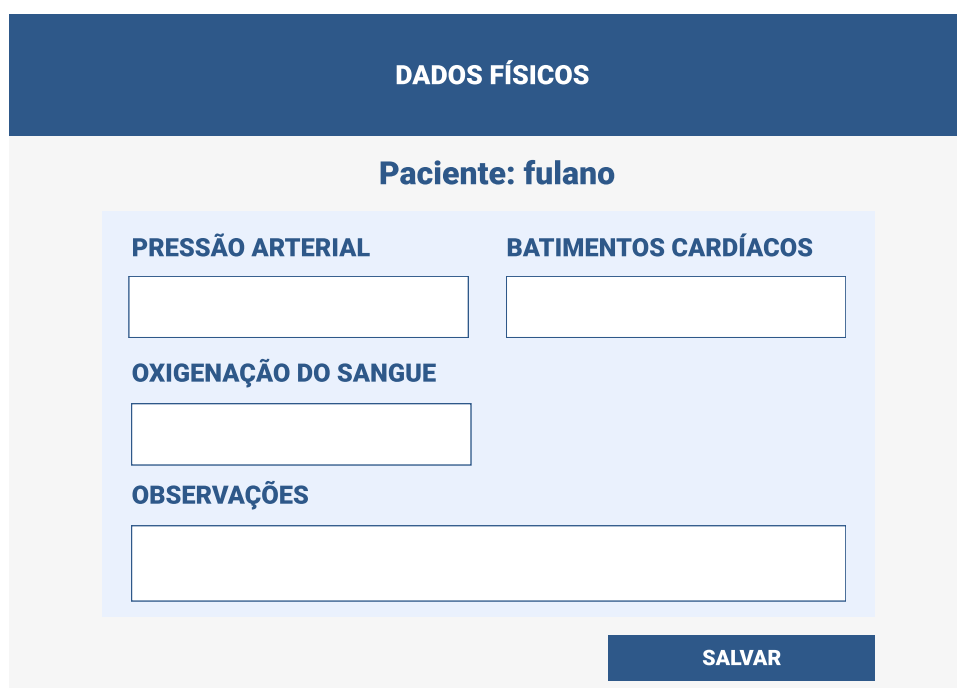
Iniciar uma nova sessão

Paciente: fulano

TENNIS GAME
PHYSIO

Fonte: Autora (2021).

Figura 67 – Demonstração da Tela 08.



DADOS FÍSICOS

Paciente: fulano

PRESSÃO ARTERIAL	BATIMENTOS CARDÍACOS
<input type="text"/>	<input type="text"/>
OXIGENAÇÃO DO SANGUE	
<input type="text"/>	
OBSERVAÇÕES	
<input type="text"/>	

SALVAR

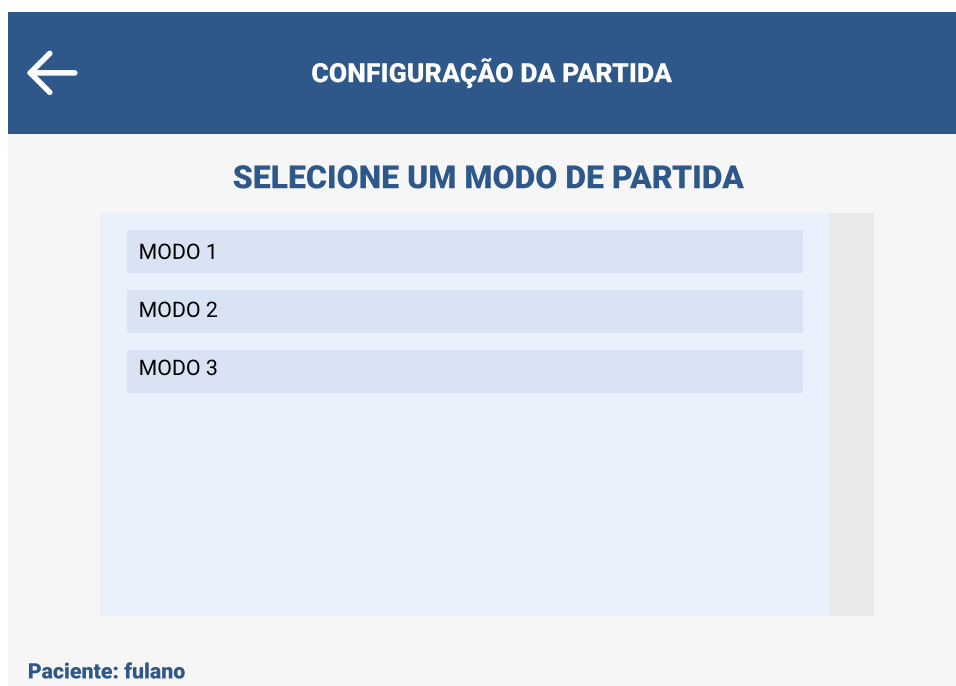
Fonte: Autora (2021).

Figura 68 – Demonstração da Tela 09.



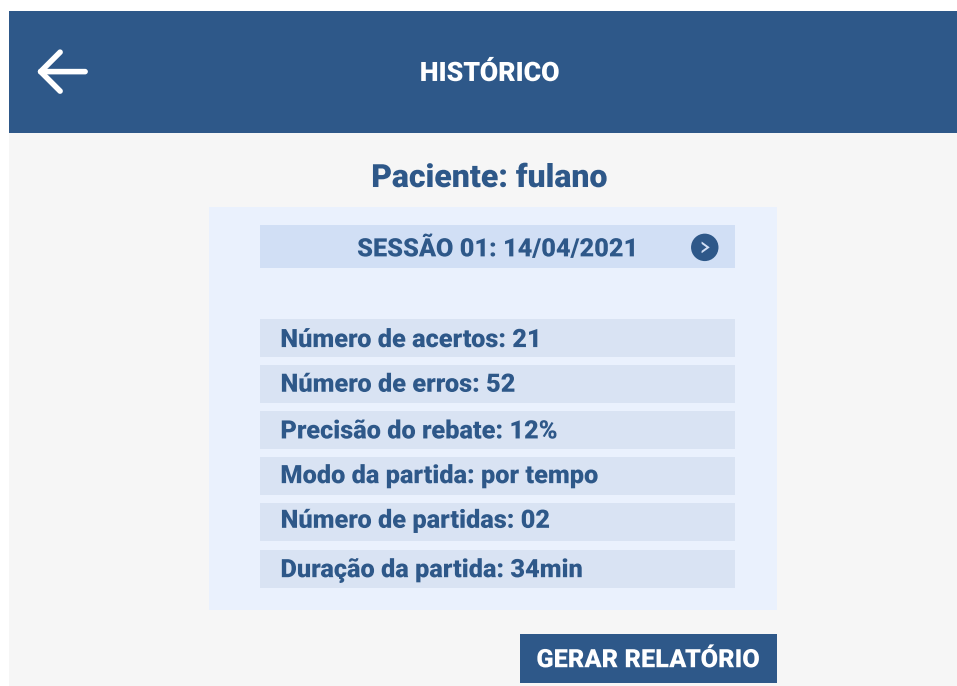
Fonte: Autora (2021).

Figura 69 – Demonstração da Tela 10.



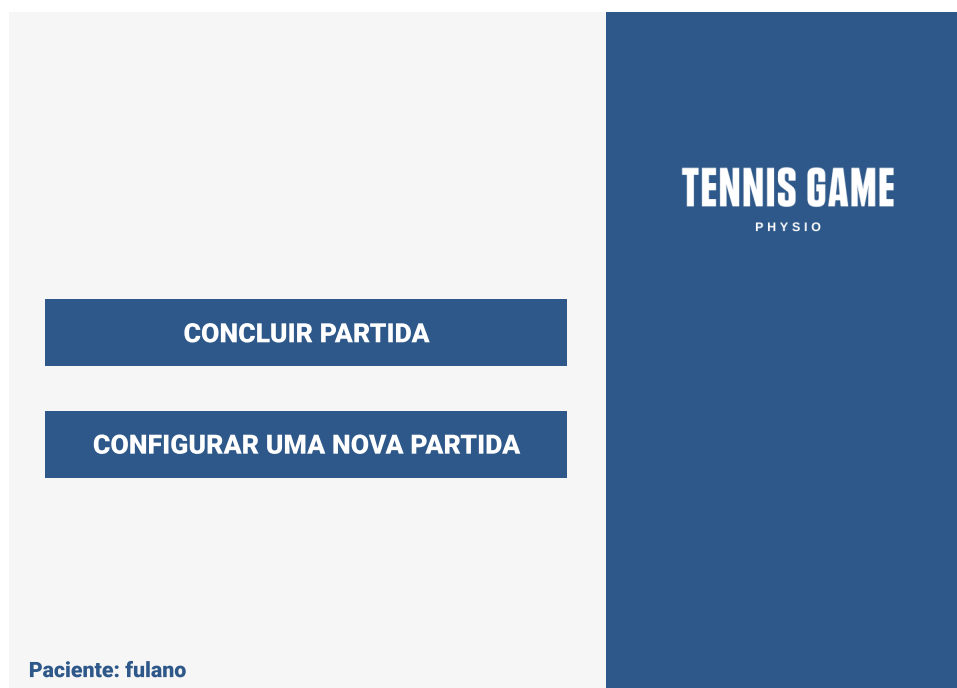
Fonte: Autora (2021).

Figura 70 – Demonstração da Tela 11.



Fonte: Autora (2021).

Figura 71 – Demonstração da Tela 12.



Fonte: Autora (2021).

APÊNDICE D – DOCUMENTO DE PLANO DE TESTES

**Documento de Plano de Testes:
TennisGame Physio**

Versão 02 - Setembro, 2021.

Histórico

Data	Versão	Autor	Revisão
18/04/21	1.0	Andrelise Nunes Lemos Pinheiro	Julio Saraçol Domingues Júnior Érico Marcelo Hoff do Amaral
09/09/21	2.0	Andrelise Nunes Lemos Pinheiro	Julio Saraçol Domingues Júnior Érico Marcelo Hoff do Amaral

Introdução

O presente documento de plano de testes tem por finalidade reunir as informações necessárias para planejar e controlar os testes referentes a uma ação específica ou da solução por completo. Ele descreve a abordagem dada nos testes e é o plano gerado para coordenar a execução dos testes.

Desta forma, está exposto nesta documentação os planos de testes dos seguintes artefatos construídos na primeira fase de desenvolvimento:

- Nó sensor que consiste na integração entre:
 - ◆ Aplicativo móvel desenvolvido em Flutter
 - ◆ Circuito Integrado entre Arduino e Módulo Bluetooth HC-05
- Software que compreende a ferramenta de apoio aos fisioterapeutas e o jogo
 - ◆ Neste plano está contido os testes da primeira etapa que consiste na integração do jogo com o nó sensor
 - ◆ E os testes da segunda etapa que é descrito pelos experimentos da solução

Ferramentas de sistema

Para a realização dos planos de testes do nó sensor se utilizou um smartphone com Sistema Operacional Android 9 com 4 GB de Memória RAM e processador Qualcomm Snapdragon 636. Além do nó sensor, o jogo foi compilado para um computador com processador Intel Core i5-8265U com 8 GB de Memória RAM, com o Sistema Operacional Ubuntu 20.04.

Estrutura do plano de testes

O planejamento dos testes é elaborado a partir das seguintes definições:

- 1) O objetivo que espera alcançar com teste
- 2) A explicação do caso de teste
- 3) O procedimento aplicado no teste
- 4) Resultado esperado
- 5) E, se houve um retorno válido

Além disto, os testes estão numerados conforme a ordem cronológica com que se planejou a realização de cada um.

Núm. do teste	01
Testado por	Andrelise
Data do teste	05/04/2021
Objeto do teste	Aplicação móvel
Caso de teste	Verificar se é possível realizar a coleta dos dados do acelerômetro do dispositivo.
Procedimento	Abrir o aplicativo móvel. E clicar no botão de iniciar captura.
Resultado esperado	Valores retornados na tela dos eixos x, y, e z.
Validado	Sim

Núm. do teste	02
Testado por	Andrelise
Data do teste	07/04/2021
Objeto do teste	Aplicação móvel
Caso de teste	Verificar se a comunicação Bluetooth entre Arduino + Módulo HC-05 com o aplicativo é realizada com sucesso.
Procedimento	Abrir o aplicativo móvel. Selecionar Módulo na lista de dispositivos <i>Bluetooth</i> . Esperar aparecer no topo da tela a mensagem “Conectado com HC-05” e, inicializar a captura dos dados. Se a conexão e envio foram realizados corretamente é retornado o valor “1”, logo, é escrito na tela do aplicativo a mensagem “Ok!”.
Resultado esperado	Mensagem de retorno “Ok!”.
Validado	Sim

Núm. do teste	03
Testado por	Andrelise
Data do teste	08/04/2021
Objeto do teste	Comunicação Serial entre nó sensor e <i>software</i>
Caso de teste	Validar a comunicação entre nó sensor e jogo
Procedimento	Iniciar a aplicação móvel e, iniciar captura dos dados. Verificar se está conectado corretamente o cabo USB no Arduino e no computador. E, após isso, compilar o jogo e abrir o <i>console</i> .
Resultado esperado	Imprimir valores da aceleração capturada no <i>console</i> da Unity 3D.
Validado	Sim

Núm. do teste	04
Testado por	Andrelise
Data do teste	08/04/2021
Objeto do teste	Movimentação da raquete com dados coletados do nó sensor
Caso de teste	Validar ser possível mover a raquete virtual através dos dados capturados no nó sensor
Procedimento	Feito a conexão entre nó sensor e jogo, é realizado movimentos com o smartphone posicionado no suporte. Gerar movimentos para a raquete.
Resultado esperado	Movimentar raquete no plano de eixo x.
Validado	Sim

Núm. do teste	05
Testado por	Andrelise
Data do teste	02/08/2021
Objeto do teste	Troca de mensagens entre <i>smartphone</i> , <i>Arduino</i> e <i>Unity</i> para estabelecer comunicação
Caso de teste	Validar se os dados foram recebidos corretamente
Procedimento	Estabelecida a conexão entre <i>smartphone</i> e <i>Arduino</i> é enviado o valor C;1; após a captura é reencaminhada via comunicação serial para a <i>Unity</i>
Resultado esperado	Que as informações emitidas sejam recebidas corretamente sem embaralhamento e lixo
Validado	Sim

Núm. do teste	06
Testado por	Andrelise
Data do teste	03/08/2021
Objeto do teste	Realizar a coleta dos dados do sensor giroscópio
Caso de teste	Validar se é possível realizar a coleta dos dados
Procedimento	Solicitar através da interface do aplicativo móvel a coleta das informações do sensor giroscópio
Resultado esperado	Retorno dos dados coletados do sensor
Validado	Sim

Núm. do teste	07
Testado por	Andrelise
Data do teste	05/08/2021
Objeto do teste	Envio do pacote da aplicação criado pela aplicação móvel via comunicação Bluetooth
Caso de teste	Criar um pacote com a direção e os dados de movimento pelo aplicativo móvel e emitir via comunicação Bluetooth para o Módulo HC-05
Procedimento	Coletar os dados do giroscópio, processar e criar um pacote com a direção e os dados de movimento e encaminhá-los via comunicação Bluetooth
Resultado esperado	Ao receber o pacote através do Módulo HC-05, imprimir no monitor serial do Arduino o pacote recebido
Validado	Sim

Núm. do teste	08
Testado por	Andrelise
Data do teste	05/08/2021
Objeto do teste	Envio do pacote recebido pelo Arduino para a Unity via comunicação Serial
Caso de teste	Processar o pacote no Arduino e reencaminhá-lo via comunicação Serial
Procedimento	Coletar o pacote recebido, validá-lo e reencaminhar para a Unity
Resultado esperado	Ao receber o pacote através da Unity, ser verificado o mesmo valor que o aplicativo móvel enviou inicialmente
Validado	Sim

Núm. do teste	09
Testado por	Andrelise
Data do teste	09/08/2021
Objeto do teste	Movimentar a Raquete Virtual com os dados do sensor Giroscópio
Caso de teste	Realizar o deslocamento da Raquete Virtual na tela do jogo corretamente
Procedimento	Receber o pacote via comunicação Serial, processá-lo e realizar a renderização do movimento na tela do jogo
Resultado esperado	Movimentos fluídos para a direita, esquerda, detectar parada e não sair do intervalo da tela
Validado	Sim

Núm. do teste	10
Testado por	Andrelise
Data do teste	09/11/2021
Objeto do teste	Validar a calibragem
Caso de teste	Capturar e processar os valores extremos da direita e esquerda
Procedimento	Envia solicitação para requisição da direita, receber ok para início, realizar o movimento e retornar que a calibração foi concluída
Resultado esperado	Calibragem concluída com sucesso, imprimindo na tela da aplicação móvel os valores coletados
Validado	Sim

Núm. do teste	11
Testado por	Andrelise
Data do teste	13/08/2021
Objeto do teste	Escrever e ler em um arquivo de log
Caso de teste	Realizar a escrita de dados em um arquivo e, posteriormente, ser possível ler as informações salvas
Procedimento	Captura de um input do tipo texto e realizar a escrita dos valores lidos em um arquivo de texto. Após, escrever no console da Unity os valores lidos do mesmo arquivo
Resultado esperado	Escrever um valor no arquivo e, posteriormente, ler e imprimir o mesmo dado
Validado	Sim

Núm. do teste	12
Testado por	Andrelise
Data do teste	14/08/2021
Objeto do teste	Cadastrar fisioterapeuta
Caso de teste	Realizar a captura do nome do fisioterapeuta e guardar
Procedimento	Ler os valores de entrada e escrever no arquivo de log
Resultado esperado	Ao abrir o arquivo de log os dados inseridos estarem escrito
Validado	Sim

Núm. do teste	13
Testado por	Andrelise
Data do teste	14/08/2021
Objeto do teste	Cadastrar paciente
Caso de teste	Realizar a captura do nome, idade, sexo e nível da amputação do paciente e guardar
Procedimento	Ler os valores de entrada e escrever no arquivo de log
Resultado esperado	Ao abrir o arquivo de log os dados inseridos estarem escrito
Validado	Sim

Núm. do teste	14
Testado por	Andrelise
Data do teste	14/08/2021
Objeto do teste	Login do fisioterapeuta
Caso de teste	Efetuar o login no sistema
Procedimento	A partir de um listview ser possível encontrar o nome cadastrado e selecionar
Resultado esperado	Login concluído com sucesso, passando para a tela de login do paciente
Validado	Sim

Núm. do teste	15
Testado por	Andrelise
Data do teste	14/08/2021
Objeto do teste	Login do paciente
Caso de teste	Efetuar o login do paciente no sistema
Procedimento	A partir de um listview ser possível encontrar o nome do paciente cadastrado e selecionar
Resultado esperado	Login concluído com sucesso, passando para a tela com as opções de acessar o histórico do paciente ou configurar uma nova partida
Validado	Sim

Núm. do teste	16
Testado por	Andrelise
Data do teste	14/08/2021
Objeto do teste	Capturar e salvar os dados físicos do paciente
Caso de teste	Realizar a leitura dos valores de entrada e salvar no arquivo de log
Procedimento	O fisioterapeuta insere os valores de entrada, se achar necessário e salva, após o sistema coleta esses valores e salva no arquivo de log
Resultado esperado	Dados físicos salvos no arquivo de log
Validado	Sim

Núm. do teste	17
Testado por	Andreise
Data do teste	16/08/2021
Objeto do teste	Configuração do modo de jogabilidade da partida
Caso de teste	Realizar a configuração da partida através dos três modos principais: demo, tempo e níveis
Procedimento	Seleciona cada um dos modos e executar a partida
Resultado esperado	Os valores configurados para cada tipo de partida foram efetuados corretamente
Validado	Sim

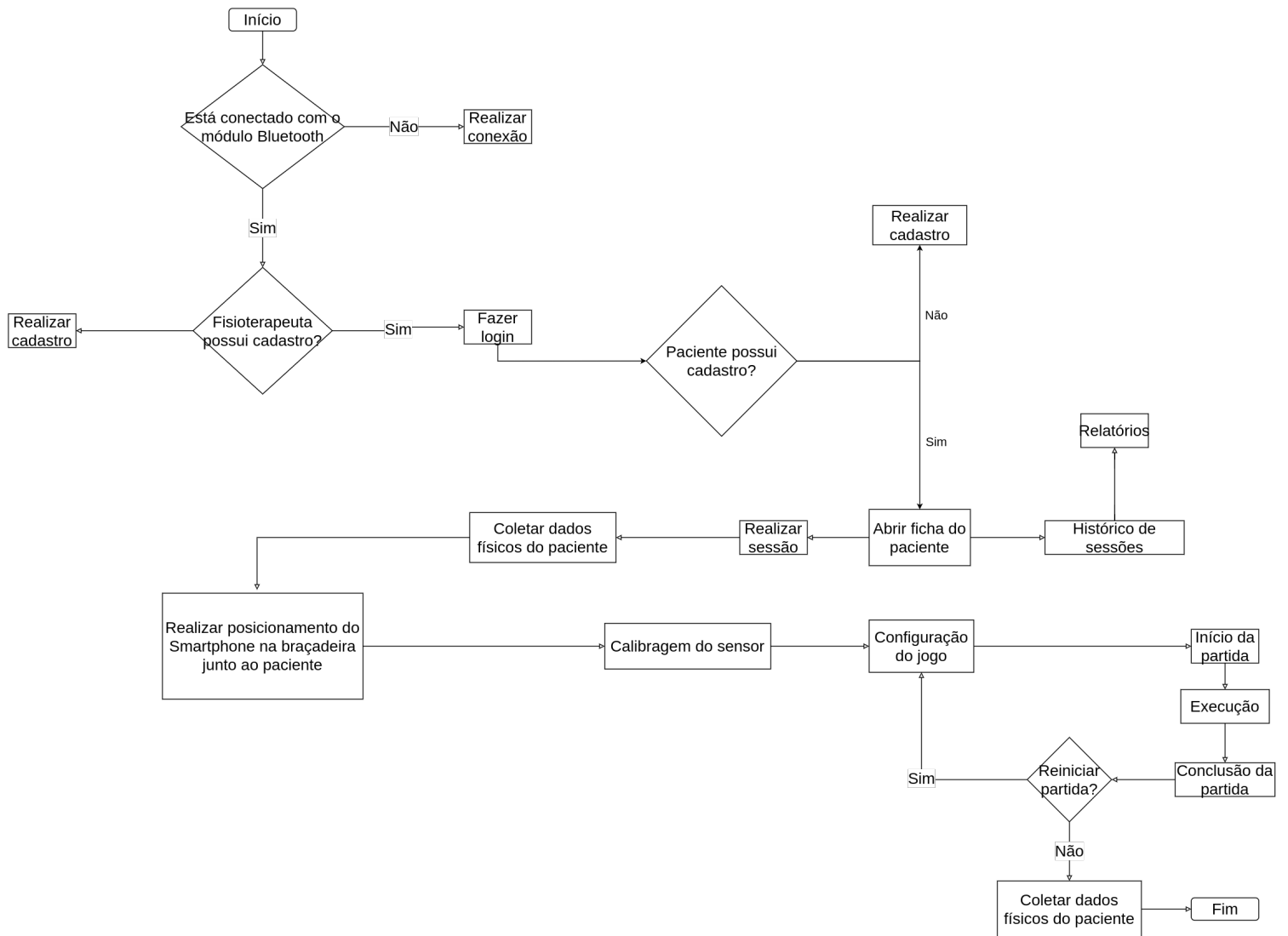
Núm. do teste	18
Testado por	Andreise
Data do teste	16/08/2021
Objeto do teste	Geração de dados durante a partida e coleta dos mesmos
Caso de teste	Tomada dos dados durante a partida
Procedimento	Durante o jogo são coletados os dados de performance do paciente esses dados devem ser salvos em variáveis para posteriormente serem tratados
Resultado esperado	Realizar a impressão dos dados coletados na tela ao final da partida
Validado	Sim

Núm. do teste	19
Testado por	Andrelise
Data do teste	22/08/2021
Objeto do teste	Geração do histórico de sessões do paciente
Caso de teste	Realizar a leitura das sessões já efetuadas pelo paciente
Procedimento	O fisioterapeuta requisita a lista do histórico e, seleciona dentre as sessões retornadas qual deseja visualizar o histórico de informações
Resultado esperado	Impressão dos dados das sessões selecionadas
Validado	Sim

Núm. do teste	20
Testado por	Andrelise
Data do teste	22/08/2021
Objeto do teste	Geração dos gráficos de desempenho e efetividade do paciente
Caso de teste	Gerar os gráficos das sessões selecionadas pelo fisioterapeuta
Procedimento	O fisioterapeuta requisita a lista do histórico e, seleciona dentre as sessões retornadas qual deseja visualizar o histórico de informações. A partir disso, é possível gerar os gráficos com os dados de desempenho e efetividade das sessões solicitadas
Resultado esperado	Impressão dos gráficos das sessões selecionadas
Validado	Sim

Núm. do teste	21
Testado por	Andreise
Data do teste	30/08/2021
Objeto do teste	Geração do relatório do paciente
Caso de teste	Gerar o relatório do paciente com os dados das partidas e seus respectivos gráficos
Procedimento	O fisioterapeuta requisita a lista do histórico e, seleciona dentre as sessões retornadas qual deseja visualizar o histórico de informações. A partir disso, é possível gerar os gráficos com os dados de desempenho e efetividade das sessões solicitadas. Além de, exportar o relatório em arquivo pdf
Resultado esperado	Arquivo pdf com dados da partida do paciente e, respectivos gráficos
Validado	Sim

APÊNDICE E – FLUXOGRAMA DA SOLUÇÃO



**APÊNDICE F – RELATÓRIO DO PACIENTE GERADO PELA FERRAMENTA
DO PACIENTE**



TENNIS GAME
PHYSIO

Relatório TennisGame Physio

Paciente:

Dados Cadastrais

Idade: 56

Nível da amputação: Inferior

Sexo: Masculino

Sessão: 02/09/2021 13:55:55

Dados Físicos

Antes da partida: não inseridos

Dados da partida

Modo da partida: nível fácil

Placar da partida Paciente: [5][3]: Bot

Total de rebates: 14

Número de acertos: 11

Número de erros: 3

Efetividade: 62,50%

Desempenho: 54,55%

Duração da partida: 24,38425seg

Dados da partida

Modo da partida: nível fácil

Placar da partida Paciente: [5][4]: Bot

Total de rebates: 18

Número de acertos: 13

Número de erros: 4

Efetividade: 55,58%

Desempenho: 57,14%

Duração da partida: 1,085789min

Dados Físicos

Depois da partida: não inseridos

Sessão: 02/09/2021 13:59:29

Dados Físicos

Antes da partida: não inseridos

Dados da partida

Modo da partida: nível fácil

Placar da partida Paciente: [4][5]: Bot Total de rebates: 16

Número de acertos: 11

Número de erros: 5

Efetividade: 44,44%

Desempenho: 63,64%

Duração da partida: 27,83389seg

Dados da partida

Modo da partida: nível fácil

Placar da partida Paciente: [5][3]: Bot

Total de rebates: 14

Número de acertos: 11

Número de erros: 3

Efetividade: 62,50%

Desempenho: 54,55%

Duração da partida: 1,10216min

Dados da partida

Modo da partida: nível médio

Placar da partida Paciente: [8][2]: Bot

Total de rebates: 8

Número de acertos: 11

Número de erros: 2

Efetividade: 80,00%

Desempenho: 50,00%

Duração da partida: 1,554606min

Dados da partida

Modo da partida: nível médio

Placar da partida Paciente: [8][5]: Bot

Total de rebates: 12

Número de acertos: 13

Número de erros: 5

Efetividade: 61,54%

Desempenho: 71,43%

Duração da partida: 2,248499min

Dados da partida

Modo da partida: nível difícil

Placar da partida Paciente: [13][7]: Bot Total de rebates: 35

Número de acertos: 29

Número de erros: 7
Efetividade: 65,00%
Desempenho: 57,14%
Duração da partida: 3,4304min

Dados da partida
Modo da partida: nível difícil
Placar da partida Paciente: [9][13]: Bot
Total de rebates: 38
Número de acertos: 27
Número de erros: 13
Efetividade: 40,91%
Desempenho: 72,00%
Duração da partida: 4,732028min
Dados Físicos
Depois da partida: não inseridos

Gráfico de Efetividade

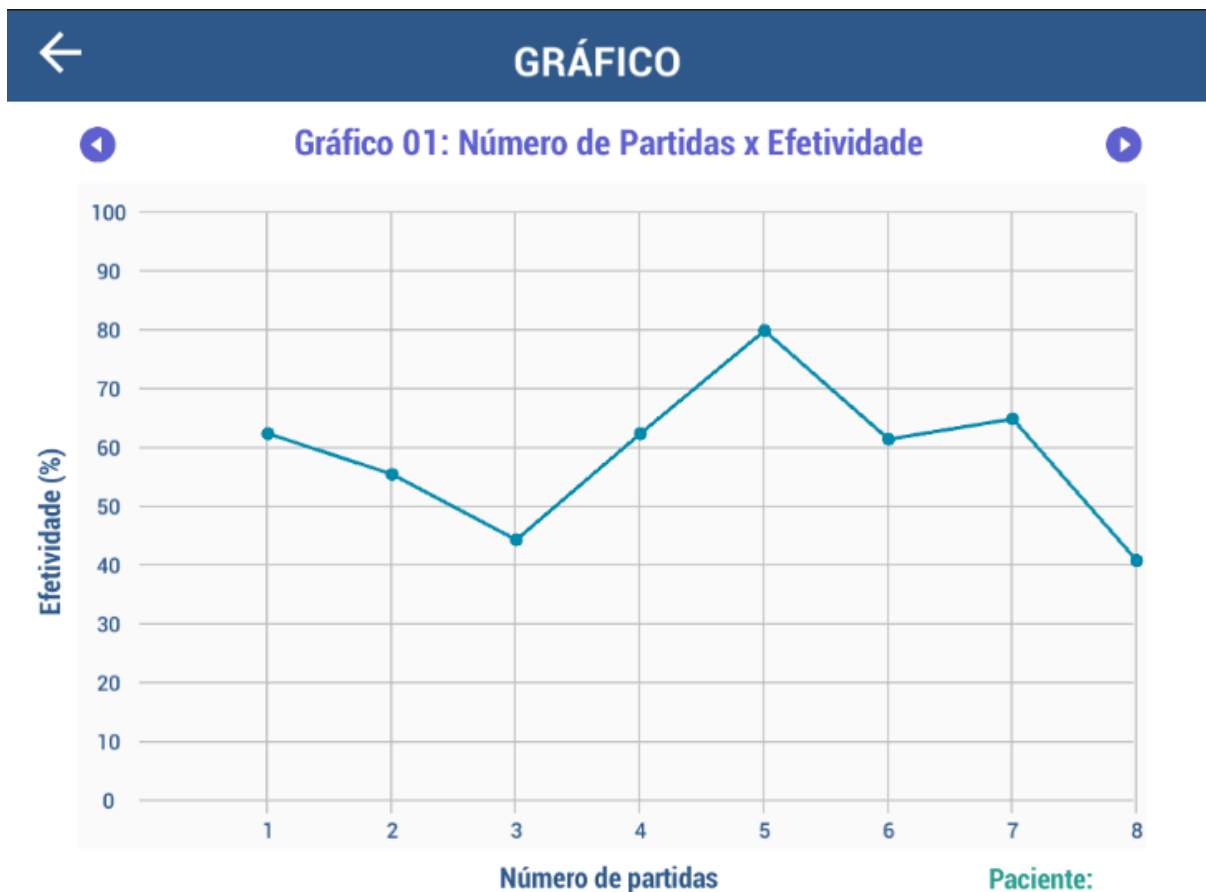


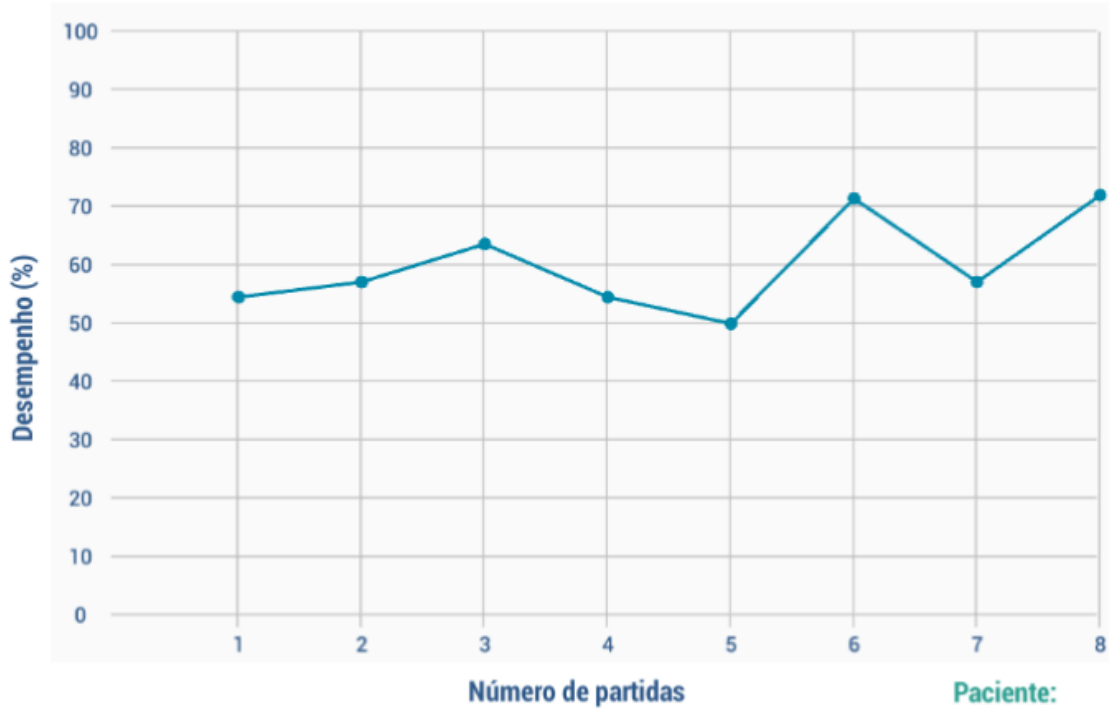
Gráfico de Desempenho



GRÁFICO



Gráfico 02: Número de Partidas x Desempenho



APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS FISIOTERAPEUTAS



TENNIS GAME PHYSIO

Questionário de avaliação do Tennis Game Physio **Fisioterapeutas**

Responda o questionário de acordo com a sua avaliação da utilização do sistema TennisGame Physio. A indicação de sua resposta pode variar de 1 a 5, onde 1 significa a pior avaliação e 5 a melhor avaliação possível. Suas respostas são muito importantes para a nossa pesquisa e, também, para melhorias no projeto. Muito Obrigada!

- 1) A primeira vez que você utilizou o sistema, você teve a impressão de que o mesmo seria realmente útil nas sessões de amputados do membro superior ou inferior

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

- 2) O sistema possui uma interface de utilização intuitiva, agradável e de fácil uso?

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

- 3) As informações coletadas pela solução são relevantes para a avaliação da reabilitação física do paciente

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

- 4) Os dados coletados pelo sistema são apresentados de maneira satisfatória, através dos campos na tela do final da partida e, no histórico de sessões.

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

- 5) O sistema exibe um desempenho confiável, sem apresentar delay, lentidão ou mau funcionamento.

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

- 6) A ferramenta é capaz de fornecer motivação ao paciente amputado.

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

7) É notável a motivação dos pacientes ao utilizar a ferramenta

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

8) O sistema fornece as funcionalidades necessárias para o acompanhamento do progresso do paciente ao longo do tratamento de reabilitação física

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

9) De maneira geral, você gostou de utilizar o sistema

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

10) Descreva textualmente a sua opinião sobre a utilização do sistema e os possíveis benefícios do sistema

11) Acrescente sugestões de melhorias e alterações necessárias no sistema

APÊNDICE H – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PACIENTES



TENNIS GAME PHYSIO

Questionário de avaliação do Tennis Game Physio Pacientes

Responda o questionário de acordo com a sua avaliação da utilização do sistema TennisGame Physio. A indicação de sua resposta pode variar de 1 a 5, onde:

1. Discordo Fortemente
2. Discordo
3. Não concordo nem discordo
4. Concordo
5. Concordo Fortemente

Suas respostas são muito importantes para a nossa pesquisa e, também, para melhorias no projeto. Muito Obrigada!

1) Você se sentiu desafiado pela complexidade do jogo, mas acreditou que suas capacidades lhe permitiram enfrentar o desafio

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

2) Foi claro para você como estava sendo seu desempenho durante o jogo

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

3) Você sentiu que estava em total controle da atividade

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

4) Você se sentiu totalmente confortável ao realizar a atividade

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

5) Você se sentiu desconectado da noção de tempo

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

6) Você não precisou se esforçar para se manter concentrado na atividade

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

7) Você não estava preocupado com as considerações das pessoas
ao seu redor

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

8) Você achou a experiência recompensadora

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []

9) Você gostaria de repetir a experiência do jogo

1 [] 2 [] 3 [] 4 [] 5 []