

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JONE FOLLMANN

**PHYSIOPONG: SERIOUS GAME
APLICADO AO PROCESSO DE
REABILITAÇÃO FÍSICA DE
AMPUTADOS DE MEMBROS
SUPERIORES**

**Bagé
2019**

JONE FOLLMANN

**PHYSIOPONG: SERIOUS GAME
APLICADO AO PROCESSO DE
REABILITAÇÃO FÍSICA DE
AMPUTADOS DE MEMBROS
SUPERIORES**

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: Érico Marcelo Hoff do Amaral

**Bagé
2019**

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) .

F668p Follmann, Jone

PhysioPong: Serious Game aplicado ao processo de
reabilitação física de amputados de membros superiores / Jone
Follmann.

136 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO, 2019.

"Orientação: Érico Marcelo Hoff do Amaral".

1. Jogos Sérios. 2. Reabilitação. 3. Amputados. 4.
Eletromiografia. I. Título.

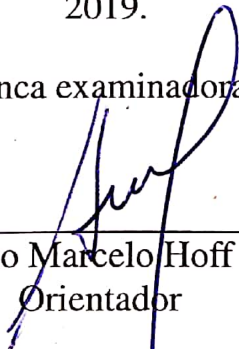
JONE FOLLMANN

PHYSIOPONG: SERIOUS GAME APLICADO AO PROCESSO DE REABILITAÇÃO FÍSICA DE AMPUTADOS DE MEMBROS SUPERIORES

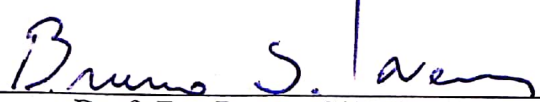
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia de Computação como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 29 de junho de 2019.

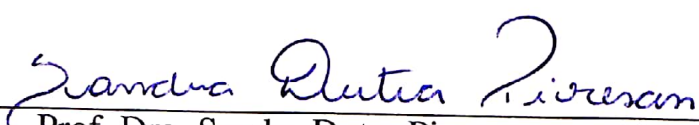
Banca examinadora:



Prof. Dr. Érico Marcelo Hoff do Amaral
Orientador



Prof. Dr. Bruno Silveira Neves
Universidade Federal do Pampa



Prof. Dra. Sandra Dutra Piovesan
Universidade Federal do Pampa

Dedico este trabalho a Deus!

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade que me deste de realizar este trabalho, pois proporcionaram inúmeros conhecimentos tanto para vida pessoal, como para a academia. Agradeço aos meus pais Marlene e Albino que sempre acreditaram e me apoiaram ao longo da graduação, sem o esforço de vocês nada disso teria acontecido.

Agradeço a todos os Amigos e Familiares por toda a ajuda, companheirismo, carinho e paciência, que auxiliaram neste caminho para chegar até aqui. Agradeço especialmente ao meu professor orientador Érico Amaral pelos conselhos que me deste, por acreditar e confiar no potencial de desenvolvimento deste projeto. Agradeço as orientações do professor Julio Saraçol que sempre se mostrou atencioso e disponível para auxiliar na construção deste trabalho.

Agradeço a todos os professores que tive contato, incentivando, apoiando e orientando ao longo da graduação, além de toda a paciência em aguentar a mim e meus colegas ao longo destes anos. Também, agradeço aos membros do GIM por todo o apoio e não medir esforços para ajudar na execução deste trabalho.

Por fim, agradeço a Tudo e a Todos que de alguma forma ou outra auxiliaram durante esta etapa da minha vida.

Om!

“No son las perdidas ni las caidas lo que pueden hacer fracasar nuestra vida, sino la falta de coraje para levantarnos y seguir adelante...”

— M. Samael Aun Weor

RESUMO

O presente estudo descreve uma proposta de solução computacional baseado no contexto de *Serious Game*, para apoiar no processo de reabilitação física de pacientes amputados de membros superiores. Desta forma, foi desenvolvido o jogo sério PhysioPong, na qual se espera que a solução sirva como uma ferramenta de treinamento, integrado a técnicas de monitoramento de sinais eletromiográficos para auxiliar nas primeiras fases do processo de reabilitação destes pacientes. Este treinamento busca fortalecer fisicamente a musculatura do coto para que posteriormente possa ser protetizado, como também, proporcionar ao paciente um ambiente motivador para o tratamento. Além disso, vislumbra-se que, a ferramenta seja válida para os fisioterapeutas acompanharem a evolução destes indivíduos ao longo do processo de reabilitação. Atualmente, os jogos sérios têm sido empregados como uma ferramenta destinada aos mais variados fins, levando uma experiência lúdica aos jogadores. O PhysioPong foi desenvolvido através da *game engine* Unity, combinado a um módulo nó sensor que, coleta dados dos sinais mioelétricos gerados por uma contração muscular de um indivíduo, possibilitando realizar ações no jogo. A solução baseia-se no jogo Pong da empresa Atari Inc., que simula um tênis de mesa em 2D, com o intuito de rebater com uma raquete uma bolinha e assim pontuar. O jogo foi projetado seguindo os atuais métodos de desenvolvimento de jogos digitais, gerando a documentação apropriada. A fim de avaliar a presente proposta, foram realizados testes de usabilidade, além de experimentos científicos com pacientes amputados. Estes experimentos contaram com o acompanhamento de profissionais de fisioterapia do Serviço de Reabilitação Física de Bagé-RS. As avaliações realizadas acerca da ferramenta indicam que os resultados foram promissores, com usabilidade e mecânica adequados, fundamentando a utilização do PhysioPong.

Palavras-chave: Jogos sérios. Reabilitação. Amputados. Eletromiografia.

ABSTRACT

The present study describes the proposal a solution computing based on the context of the Serious Game, to support in the process of physical rehabilitation of patients amputees of upper limbs. Therefore, when developed a serious game PhysioPong, at which it is expected that proposal serves as a training tool, integrated into the technical monitoring of signal eletromiography to assist in the early stages of the rehabilitation process of these patients. This training as physically strengthen the muscles so that they can later be protected, as well provide the patient a motivator environment for the treatment. Furthermore, as glimpsed that tool valid for physical therapists to follow the progress of these individuals over the rehabilitation process. Nowadays, the serious game have employed with a tool destined for the more various purposes, bringing a ludic experience of the players. The PhysioPong was developed by using the Unity game engine, combined a sensor node module that aims to collect data from the myoelectric signals generates by a muscular contraction of an individual, being possible to perform actions in a game. The solution is based on the Atari Inc. Pong game, which simulates a 2D table tennis with the purpose of the game is to hit a ball with a racket to hit it. The game has been designed following today's development standards, generating the appropriate documentation. To further measure the present purpose have been performing usability test, furthermore scientific experiments with amputees patients. These experiments accounted follow physiotherapy professionals of the physic rehabilitation service from Bagé-RS. The evaluation performed about the tool indicated promising results with a usability and mechanic appropriated, basing the use of PhysioPong.

Keywords: Serious Game. Rehabilitation. Amputees. Electromyography.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | Diagrama da metodologia..... | 19 |
| Figura 2 | Níveis de amputação de membros superiores e inferiores..... | 22 |
| Figura 3 | Próteses passivas..... | 23 |
| Figura 4 | Exemplificação de prótese mioelétrica..... | 24 |
| Figura 5 | Juncão neuromuscular..... | 28 |
| Figura 6 | Esquema de geração de um MUAP..... | 29 |
| Figura 7 | Representação esquemática da geração do sinal mioelétrico a partir de um músculo..... | 30 |
| Figura 8 | Alguns exemplos de eletrodos EMG..... | 31 |
| Figura 9 | Eletrodo EMG ativo diferencial..... | 32 |
| Figura 10 | Sinal mioelétrico obtido em diferentes posições de um músculo..... | 33 |
| Figura 11 | Definição de <i>serious game</i> | 36 |
| Figura 12 | Microcontrolador genérico..... | 39 |
| Figura 13 | Exemplos de plataformas de prototipagem..... | 40 |
| Figura 14 | Diferentes plataformas de prototipagem Arduino..... | 41 |
| Figura 15 | Jogo <i>Feel Your Arm</i> | 44 |
| Figura 16 | Jogos utilizados no processo de reabilitação..... | 45 |
| Figura 17 | Ambiente integrado para tratamento de dor de membro fantasma e treinamento de prótese modular..... | 46 |
| Figura 18 | Desenvolvimento de um jogo sério para treinamento de amputados de membro superior..... | 47 |
| Figura 19 | Jogo de tiro como ferramenta para reabilitar amputados que utilizam próteses articuladas no membros superiores..... | 48 |
| Figura 20 | Identidade visual do jogo <i>PhysioPong</i> | 50 |
| Figura 21 | Esquema da arquitetura do sistema <i>PhysioPong</i> | 51 |
| Figura 22 | Diagrama adaptado de funcionalidades do sistema..... | 56 |
| Figura 23 | Diagrama de casos de uso do usuário..... | 57 |
| Figura 24 | Diagrama de casos de uso do nó sensor..... | 58 |
| Figura 25 | Pinagem da plataforma Arduino Mega 2560..... | 58 |
| Figura 26 | <i>MyoWare Muscle Sensor</i> | 59 |
| Figura 27 | Esquema de ligação nó sensor..... | 59 |
| Figura 28 | Diagrama de sequência representando a coleta de dados..... | 60 |
| Figura 29 | Arquitetura de comunicação entre o jogo e o banco de dados..... | 61 |
| Figura 30 | Diagrama Entidade-Relacionamento do jogo <i>PhysioPong</i> | 62 |
| Figura 31 | Ambiente de desenvolvimento da <i>game engine</i> Unity..... | 63 |
| Figura 32 | Representação da <i>string</i> com os valores de EMG no monitor serial do Arduino..... | 64 |
| Figura 33 | Algoritmo de tratamento do sinal de acordo com limiar de amplitude..... | 65 |
| Figura 34 | Menu principal do jogo <i>PhysioPong</i> | 66 |
| Figura 35 | Diagrama de sequência adaptado de menus para cadastro de pacientes..... | 67 |
| Figura 36 | Diagrama de sequência adaptado de menus para uma nova sessão..... | 68 |
| Figura 37 | Esquemático do sistema de interface do jogador (HUD)..... | 70 |
| Figura 38 | Cena principal do <i>PhysioPong</i> | 71 |
| Figura 39 | Menus de pausa..... | 72 |
| Figura 40 | Menus de fim de sessão..... | 73 |
| Figura 41 | Diagrama de sequência adaptado dos menus de relatórios..... | 74 |
| Figura 42 | Diagrama de sequência dos testes..... | 75 |
| Figura 43 | Ilustração representativa do sinal EMG..... | 76 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 44 | Sinal mioelétrico gerado através da saída do sensor <i>MyoWare</i> | 76 |
| Figura 45 | Gráficos de resultados obtidos após técnicas de retificação e envoltório linear..... | 77 |
| Figura 46 | Realização do <i>playtest</i> com voluntários | 79 |
| Figura 47 | Realização de testes com pacientes | 80 |
| Figura 48 | Respostas médias por questão dos <i>playtests</i> | 82 |
| Figura 49 | Respostas médias por questão do questionário dos fisioterapeutas | 84 |
| Figura 50 | Respostas médias por questão do questionário dos pacientes | 85 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|---|----|
| Tabela 1 | Diferenças entre <i>serious game</i> e jogos de entretenimento. | 37 |
| Tabela 2 | Comparação entre Arduino Uno e Arduino Mega 2560..... | 42 |
| Tabela 3 | Análise comparativa entre o trabalhos correlatos e a solução proposta. | 49 |
| Tabela 4 | Comparação entre <i>game engines</i> | 53 |
| Tabela 5 | Resumo de requisitos funcionais do sistema | 55 |
| Tabela 6 | Resumos de requisitos não funcionais do sistema..... | 55 |
| Tabela 7 | Tabela de diferença entre níveis do jogo | 69 |
| Tabela 8 | Pacientes selecionados para realização dos experimentos..... | 80 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|---|
| ADC | Conversor Analógico Digital |
| CAAE | Certificado de Apresentação para Apreciação Ética |
| EMG | Eletromiografia |
| GDD | <i>Game Desing Document</i> |
| GIM | Grupo de Informática Médica |
| HUD | <i>Heads-Up Display</i> |
| ID | Índice de Desenvolvimento |
| IDE | <i>Integrated Development Environment</i> |
| IMC | Índice de Massa Corporal |
| MER | Modelo Entidade-Relacionamento |
| MS | Ministério da Saúde |
| MUAP | <i>Motor Unit Action Potential</i> |
| MUAPT | <i>Motor Unit Action Potential Train</i> |
| RV | Realidade Virtual |
| SBD | Sociedade Brasileira de Diabetes |
| SME | Sinal Eletromiográfico |
| SRF | Serviço de Reabilitação Física - Bagé(RS) |
| SUS | Sistema Único de Saúde |
| UI | <i>User Interface</i> |
| UML | <i>Unified Modeling Language</i> |

SUMÁRIO

| | |
|---|------------|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 Problema de pesquisa | 16 |
| 1.2 Objetivos | 16 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 17 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 17 |
| 1.2.3 Estrutura do documento..... | 17 |
| 2 METODOLOGIA | 18 |
| 3 REFERENCIAL TEÓRICO | 20 |
| 3.1 A amputação: definição e causas | 20 |
| 3.1.1 Níveis de amputação | 21 |
| 3.1.2 Protetização | 22 |
| 3.2 Processo de reabilitação..... | 25 |
| 3.2.1 Tratamento convencional | 27 |
| 3.3 O Sinal Mioelétrico e a Eletromiografia | 28 |
| 3.3.1 Eletrodos | 30 |
| 3.4 Computação aplicada à saúde | 32 |
| 3.5 Jogos sérios | 35 |
| 3.6 Microcontroladores..... | 38 |
| 3.6.1 Arduino | 40 |
| 3.6.2 Sensores..... | 42 |
| 3.7 Trabalhos correlatos | 43 |
| 3.7.1 Feel Your Arm | 43 |
| 3.7.2 Reabilitação baseada em jogos para controle de próteses mioelétricas de membros superiores | 44 |
| 3.7.3 Ambiente integrado para tratamento de dor de membro fantasma e treinamento de prótese modular..... | 45 |
| 3.7.4 Desenvolvimento de um jogo sério para treinamento de amputados de membro superior | 46 |
| 3.7.5 Jogo de tiro como ferramenta para reabilitar amputados que utilizam próteses articuladas no membros superiores..... | 47 |
| 3.7.6 Análise comparativa | 48 |
| 4 PHYSIOPONG | 50 |
| 4.1 Descrição da proposta..... | 50 |
| 4.1.1 Tecnologias..... | 52 |
| 4.2 Análise e modelagem do sistema..... | 54 |
| 4.2.1 Nó sensor | 56 |
| 4.2.2 Banco de dados..... | 61 |
| 4.3 Desenvolvimento..... | 63 |
| 4.4 Testes | 74 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 82 |
| 5.1 Discussões..... | 85 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 88 |
| 6.1 Trabalhos futuros..... | 89 |
| REFERÊNCIAS | 91 |
| APÊNDICE A – DOCUMENTO DE REQUISITOS E CASOS DE USO | 98 |
| APÊNDICE B – <i>GAME DESIGN DOCUMENT</i> | 109 |
| APÊNDICE C – PLAYTEST DE AVALIAÇÃO - VOLUNTÁRIOS | 127 |
| APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO - FISIOTERAPEUTAS | 130 |

APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO - PACIENTES133

1 INTRODUÇÃO

O crescimento tecnológico nos diversos ramos da ciência é evidente, entretanto, merece ainda mais destaque a área da saúde, a qual tem sido alvo de diversas pesquisas nos últimos anos. A computação tem auxiliado os profissionais tanto no diagnóstico e na intervenção adequada, quanto na reabilitação física de pacientes (JUNIOR *et al.*, 2012). De acordo com Nogueira *et al.* (2014), a reabilitação física é um procedimento que exige o conhecimento sobre a enfermidade a ser tratada e as deficiências causadas no movimento. A cada dia, torna-se mais evidente a necessidade de embasamento científico sobre o corpo humano e as suas respostas fisiológicas para uma consistente tomada de decisão, visando a recuperação das funções motoras, prevendo ou reduzindo riscos de novas lesões.

Na área da saúde, atualmente, um conjunto de tecnologias estão sendo desenvolvidas com intuito de aprimorar a qualidade de diferentes tratamentos. Pesquisas envolvendo Realidade Virtual, biofeedback, game terapia, trajes robóticos, eletroterapia, entre outros, são exemplos de aplicações da computação e as suas soluções como ferramentas de apoio em tratamentos fisioterapêuticos (MIOTEC, 2017).

A amputação pode ser realizada pela má formação congênita ou traumática, que afeta diretamente a capacidade física dos indivíduos, sendo esta caracterizada como a remoção total ou parcial de um membro do corpo, ou qualquer outra saliência, devido a diferentes motivos como, por exemplo, lesões graves (DORLAN, 1999). Para Caiafa e Canongia (2003), nos últimos anos houve um aumento significativo no número de amputações no Brasil, com cerca de 40,000 amputações/ano, realizadas por diferentes motivos como diabete e acidentes de trânsito.

Nesse sentido, a fim de buscar a reabilitação após a amputação, muitos indivíduos passam por tratamentos, porém, a continuidade do processo de reabilitação é fundamental para haver resultados satisfatórios que, é muito influenciada pela atitude e motivação do indivíduo ao tratamento (ANWAR; ALKHAYER, 2016). Além disso, segundo Fernandes, Cardoso e Lamounier (2016), a pouca motivação gerada pelos métodos tradicionais de reabilitação é um dos principais motivos de abandono do tratamento fisioterápico, devido ao fato da reabilitação convencional de amputados ser um muitas vezes um processo lento, repetitivo e doloroso.

Durante o tratamento, é necessário que o paciente se concentre e reaja continuamente, contudo, esse processo pode levar alguns meses. Devido a isso, muitos usuários abandonam a prótese antes de o domínio ser alcançado (RIET *et al.*, 2013). Segundo Bid-

diss e Chau (2007), uma análise realizada indica que cerca de 30% dos pacientes equipados com próteses mioelétricas abandonam o dispositivo. Peerdeman *et al.* (2011) relata que, a baixa aceitação dos pacientes é identificada pelo difícil treinamento pré-protético.

Por muito tempo os jogos virtuais foram negligenciados pelos profissionais da saúde, alegando que eram de difícil operação e possuíam características de sedentarismo (TEIXEIRA, 2013). Com o avanço da tecnologia, os jogos digitais deixaram de ser vistos como forma de entretenimento prejudicial à saúde, ressalta Dias, Sampaio e Taddeo (2009), tornando-se uma ferramenta fundamental para aprimorar o tratamento de pacientes, indiferente se estes possuem uma grave enfermidade, ou demandam apenas procedimentos mais leves, como a fisioterapia (JUNIOR *et al.*, 2012).

Neste sentido, Moritz *et al.* (2011), destaca que, visto a necessidade de encontrar estratégias motivadoras para viabilizar a continuidade dos tratamentos destes pacientes, os jogos digitais vêm se destacando nesta nova aplicação. Desta forma, além de viabilizarem a melhora na motivação para o tratamento, também diminuem o tempo de reabilitação dos indivíduos (SLIJPER *et al.*, 2014). Segundo Alvarez, Djaouti *et al.* (2011), a combinação entre estes aspectos lúdicos que visam propósitos específicos e intencionais, são conhecidos como jogos sérios.

1.1 Problema de pesquisa

É possível desenvolver uma solução computacional que, através da gameificação aprimore o processo de reabilitação física de pacientes amputados de membro superior e, desta forma sirva como ferramenta de apoio ao profissional de fisioterapia na avaliação dos resultados destes pacientes?

1.2 Objetivos

Fundamentado nos requisitos apresentados, nesta seção serão abordados o objetivo geral e específicos do presente trabalho de pesquisa que se espera alcançar ao longo do trabalho, de acordo com problema de pesquisa levantado.

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma solução computacional, integrada a *hardware* e *software*, que deverá possibilitar o tratamento de indivíduos amputados de membro superior.

1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, foram definidos alguns objetivos específicos, são eles:

- Avaliar e implementar uma arquitetura para a solução;
- Elicitar requisitos;
- Implementar modelagem do projeto;
- Construir nó sensor;
- Implementar um protótipo, integrando *hardware* e *software*;
- Desenvolver um jogo sério motivador;
- Construir ferramenta para auxiliar na avaliação dos resultados;
- Definir e realizar testes para validação do protótipo;
- Discutir e analisar os resultados obtidos;

1.2.3 Estrutura do documento

O documento está estruturado em seis capítulos, sendo que no capítulo um foi apresentado a introdução, contendo o problema de pesquisa e os objetivos; A metodologia de construção do trabalho no capítulo dois; O referencial teórico no capítulo três; No capítulo quatro a descrição da solução proposta, juntamente com os experimentos realizados; Resultados e discussões no capítulo cinco; E por fim, considerações finais no capítulo seis; Além destes, possui uma seção de referências bibliográficas e ainda cinco documentos adicionados como apêndices.

2 METODOLOGIA

A fim de determinar uma sequência de atividades bem definidas, foi estabelecida uma metodologia de pesquisa seguida durante todo o processo de execução do projeto, iniciado a partir da definição do problema de pesquisa. Desta forma, neste capítulo será apresentada a classificação científica da pesquisa e as etapas relacionadas ao desenvolvimento da solução.

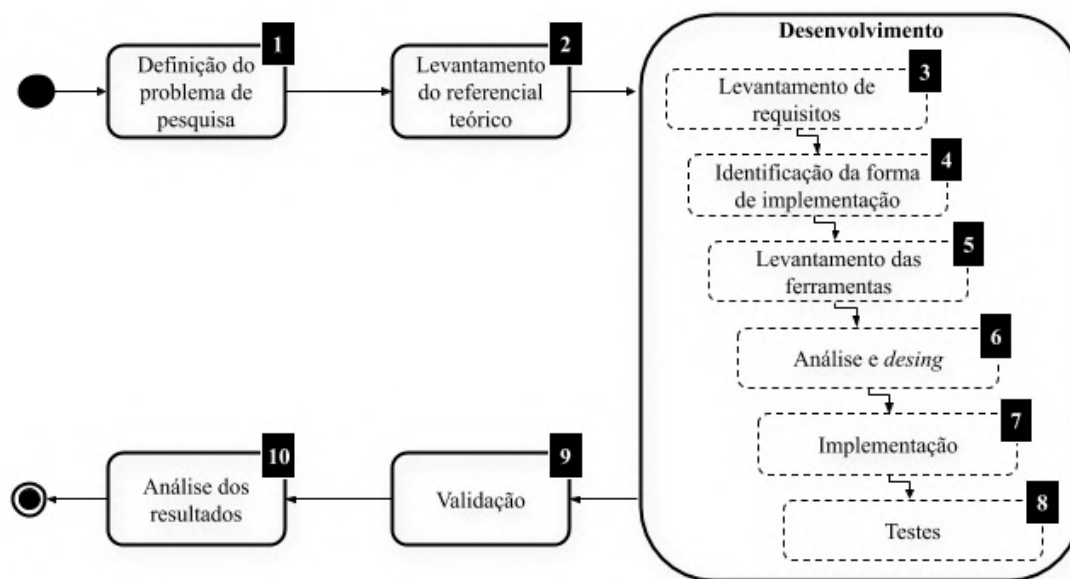
Esta pesquisa pode ser caracterizada como aplicada, visto que pretende gerar conhecimento válido e aplicável, buscando solucionar um problema específico (SILVA; MENEZES, 2001). A forma de abordagem da pesquisa pode ser classificada como quali-quantitativa, considerando que alguns elementos podem ser abordados em forma de números e requerem uso de recursos estatísticos, ao mesmo tempo, outros aspectos possuem uma avaliação subjetiva (CRESWELL, 2010).

Com relação aos objetivos, pode ser considerada exploratória, visto o fato de obter uma maior familiaridade com o tema proposto (SEVERINO, 2017). Em relação aos procedimentos técnicos, a construção da pesquisa pode ser realizada a partir de materiais documentados e através de entrevistas com profissionais familiarizados com o problema levantado (PRODANOV; FREITAS, 2013). Assim sendo, este estudo está constituído sobre um conjunto de etapas previamente definidas, com o intuito de atender como resposta efetiva às demandas do problema de pesquisa levantado, conforme apresenta a Figura 1.

Desta forma, inicialmente foi realizado a definição do problema de pesquisa, na qual se estruturou através das necessidades de soluções computacionais efetivas para tratamento amputados de membro superior. A segunda etapa consistiu no levantamento do referencial teórico, de modo a obter uma base de conhecimento sobre o problema.

Em seguida, foi realizado um levantamento de requisitos em conjunto com os usuários da solução. Nesta etapa inicia-se a utilização do método de desenvolvimento de jogos *Game Unified Process* (GUP). O GUP foi um modelo desenvolvido em 2003 pelo gerente de projetos de jogos Kevin Flood, com o intuito de unir características presentes no RUP e no XP (FLOOD, 2003). Integrando algumas práticas adotadas no XP, como a realização de teste contínuo durante todo o projeto, fases curtas, com a documentação proposta pelo RUP (BRAUWERS, 2011). Nesse sentido, pelo GUP ser um modelo formal, contém as características necessárias para este trabalho, porém, devido a sua enorme diversidade de papéis, tarefas, artefatos e atividades optou-se por escolher as características que melhor se adaptariam ao desenvolvimento do sistema.

Figura 1 – Diagrama da metodologia



Fonte: Autor (2019).

Fundamentado nos requisitos levantados, a quarta etapa consistiu na identificação da forma de implementação que, compreende em um protótipo integrando *hardware* e *software*. Este protótipo coleta dados de sensores e em conjunto com um jogo intitulado *PhysioPong*, que os interpreta e realiza ações predeterminadas, de acordo com os resultados obtidos na análise destes dados. Em seguida, na quinta etapa foi realizada uma busca pelas ferramentas a serem utilizadas. Identificou-se a necessidade da utilização de um motor de desenvolvimento de jogos, bem como um sistema para versionamento do projeto. Para o desenvolvimento do jogo foi escolhida a Unity e para o controle de versão o Bitbucket, sendo que a Seção 4.3 apresenta os métodos de escolhas adotados.

A sexta etapa se embasou na análise dos requisitos para delinear o *desing* do jogo proposto, recorrendo a linguagem de modelagem unificada (UML) para análise e modelagem do sistema. Posteriormente, iniciou-se a implementação da solução de acordo os requisitos e as ferramentas elencadas anteriormente. Nesta etapa, também iniciou-se a escrita do *Game Desing Document* (GDD) que, contém toda documentação pertinente ao jogo e está disponível no Apêndice B. A oitava etapa consistiu na realização de testes a fim de verificar o correto funcionamento da solução do ponto de vista técnico. Durante a nona etapa, foi definido um grupo de pacientes selecionados por fisioterapeutas para realização de testes e validação da proposta. Por fim, na última etapa, foi realizada a análise e discussão dos resultados obtidos na etapa anterior, com a intenção de avaliar o protótipo desenvolvido.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são abordados alguns conceitos relevantes acerca dos temas que envolvem o desenvolvimento deste trabalho. Assim sendo, é apresentada uma fundamentação teórica sobre: procedimentos de amputação e de protetização, fundamentos do processo de reabilitação física, computação aplicada na área da saúde, utilização de microcontroladores, plataformas de prototipagem, sensores, e por fim, um estudo de trabalhos correlatos.

3.1 A amputação: definição e causas

De acordo com Carvalho (2003), a amputação é caracterizada pela retirada parcial ou total de algum membro, no qual é apontada como um processo reconstrutivo de uma extremidade com funções limitadas ou sem função, sendo que, este membro residual é denominado coto, o qual agora é considerado um novo membro. A amputação tem como objetivo retirar o membro acometido e criar perspectivas para a melhora da função amputada, sendo esse um método do tratamento de diversas doenças.

Entre as principais causas de amputações, pode-se destacar as infecções, tumores, traumas, doenças vasculares periféricas e diabete (LIANZA, 2001; MCGIMPSEY; BRADFORD, 2008). Os objetivos imediatos da amputação são: alívio da dor, remoção do tecido morto ou doente, execução de uma cirurgia que permita a cicatrização de ferida e a preparação do coto para colocar uma prótese que irá permitir a realização do uso funcional do membro amputado (CRENSHAW, 1996).

Leblanc (2008), relata que devido ao pequeno número de informações sobre o tema em países pouco desenvolvidos, visto que existe uma grande dificuldade de mensuração de números precisos que indiquem a quantidade de amputados entre a população mundial. Porém, em 2008 a população mundial era cerca de 6,7 bilhões, no qual se avalia que a ocorrência de amputações era de 1,5 por 1000 pessoas. Desta forma, estima-se cerca de 10 milhões de amputados no mundo. Também, Ziegler-Graham *et al.* (2008) comenta que nos Estados Unidos, há quase dois milhões de pessoas vivendo com perda de membro, um número que deve dobrar até o ano de 2050.

Em 2001, de acordo com as Diretrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes (SBD), a incidência de amputações no Brasil foi de 13,9 por 100 mil habitantes/ano e ocorreram 80,900 amputações devido ao diabetes *mellitus*, das quais 21,700 evoluíram para morte

(SBD, 2015). Nesse sentido, o Ministério da Saúde (MS) relata, que entre 2011 e 2016, 102,056 cirurgias de amputação foram realizadas pelo Sistema Único de Saúde (SUS), das quais 70% foram em indivíduos com diabetes *mellitus*, onde deste montante, 94% foram de amputação de membro inferior (MS, 2011; MS, 2012).

3.1.1 Níveis de amputação

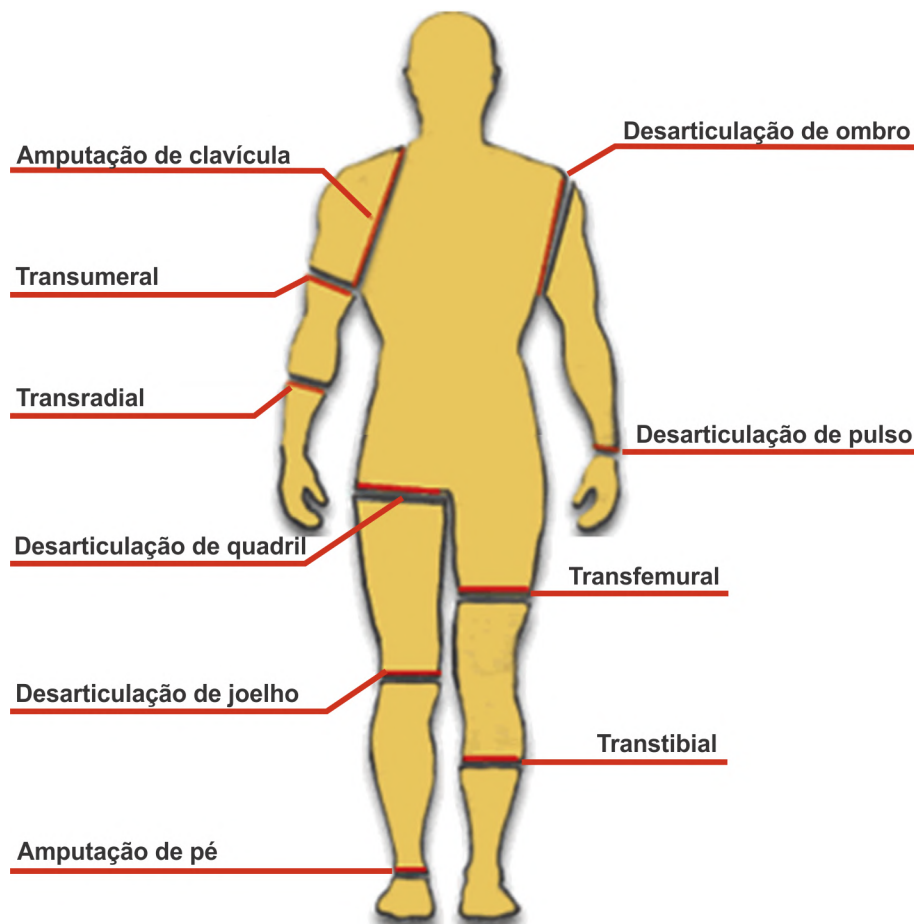
Ao realizar amputações, a escolha do nível deve ser realizada de forma cautelosa, sendo que, a finalidade da definição do nível de amputação é preservar o máximo do membro possível considerando uma boa cicatrização, com adequada cobertura de pele e sensibilidade preservada (DELISA, 2002). Nesse sentido, Lianza (1995) destaca, que um nível será mais adequado quando melhor se adaptar uma prótese funcional, dado o momento que tenham sido satisfeitas as exigências relativas à sua escolha de acordo com a idade, etiologia e a necessidade da amputação.

Segundo Crenshaw (1996), as amputações devem ser diferenciadas de desarticulações, no qual a amputação consiste na remoção da parte de um ou mais ossos, diferente da desarticulação que remove uma parte através de uma articulação. De acordo com Robert e Esquenazi (2004), Sheehan (2011), amputados de membro superior e inferior, são classificados com níveis específicos, são eles:

- Membros superiores: amputação de clavícula, desarticulação de ombro, transumeral(acima do cotovelo), transradial(abaixo do cotovelo) e desarticulação de pulso;
- Membros inferiores: desarticulação de quadril, transfemural (acima do joelho), desarticulação de joelho, transtibial(abaixo do joelho) e amputação de pé;

A Figura 2 apresenta de maneira ilustrativa os principais níveis de amputação de membro inferior e superior.

Figura 2 – Níveis de amputação de membros superiores e inferiores



Fonte: Adaptado de Meier e Melton (2014).

Os níveis mais comuns de amputados de membro superior são os transradial e transumeral. Já para membros inferiores são os transtibial e transfemural (MEIER; MELTON, 2014). Nesse sentido Datta, Selvarajah e Davey (2004) cita que, entre o maior número de amputações de membro superior o nível transradial está entre 55 – 62% dos casos, transumeral com 22 – 26% dos casos, desarticulação de ombro e clavícula está entre 5% dos casos.

3.1.2 Protetização

A perda de um membro ou parte dele é um fator que sempre esteve presente na humanidade, e o homem procurou desenvolver diferentes maneiras de substituição. Sendo uma delas as próteses, que, podemos definir como sendo um dispositivo artificial que tem como objetivo substituir membro ausente ou má formação congênita (BOCCOLINI,

2000).

Segundo os estudos apresentados por Datta, Selvarajah e Davey (2004), a taxa global de rejeição de próteses, considerando apenas os principais níveis de amputação é de 33,75%. Poucos pacientes usam sua prótese para cuidados pessoais e é, portanto, justo supor que pacientes com níveis mais elevados de amputação de membros superiores dependem menos da prótese para atividades funcionais do que aquelas com níveis mais distais de perda. Nesse sentido, (ROESCHLEIN; DOMHOLDT, 1989) destaca que, o uso de uma prótese depende do nível da amputação do membro superior, perda de mão dominante e tempo de amputação. Outros fatores que contribuem para as decisões do uso de prótese é a educação escolar, emprego e o custo da mesma (ROESCHLEIN; DOMHOLDT, 1989).

As próteses podem ser classificadas em dois grupos principais: ativas e passivas. As passivas ainda podem ser divididas em duas categorias, as próteses estéticas, que imitam o aspecto estético humano e as próteses passivas para trabalho, apesar de serem estáticas possuem grande funcionalidade, pois geralmente são desenvolvidas para uma atividade específica. Ambos os tipos de prótese passivas podem ser estáticas ou ajustáveis, no qual as próteses estáticas não possuem mobilidade. Já as próteses ajustáveis apresentam uma fixação que permite ajustes, mecanismos ou partes podem ser manipuladas para múltiplas orientações (MAAT *et al.*, 2018; BOCCOLINI, 2000). A Figura 3 exemplifica as próteses passivas.

Figura 3 – Próteses passivas



Fonte: Adaptado de Maat *et al.* (2018).

As próteses ativas são caracterizadas pela mobilidade e movimento de partes controladas de alguma forma pelo paciente (BOCCOLINI, 2000). Em destaque, estão as próteses mioelétricas que, fornecem controle do movimento dos membros superiores usando

eletromiografia nos músculos residuais para controlar os movimentos do braço e da mão (DAWSON; CAREY; FAHIMI, 2011).

Ao longo dos anos houveram avanços nos recursos cosméticos, peso, vida útil da bateria e componentes das próteses mioelétricas, no entanto, as estratégias de controle fundamentais não mudaram (PEERDEMAN *et al.*, 2011). O controle é realizado usando um grupo muscular para abrir a mão e outro para fechar, sendo que alguns dispositivos mais avançados permitem movimentos no pulso ou padrões específicos de aderência (SCOTT, 1992). A Figura 4 apresenta o sistema de uma prótese mioelétrica que permite movimentos de abertura e fechamento da mão, bem como uma prótese mioelétrica para amputado transradial.

Figura 4 – Exemplificação de prótese mioelétrica



(a) Sistema da prótese mioelétrica

(b) Prótese mioelétrica para amputado transradial

Fonte: Adaptado de Ortosan¹. Acesso em: 18 novembro 2018.

De acordo com Roche *et al.* (2014) e Sturma *et al.* (2014), o controle inicial de uma prótese mioelétrica pode ser uma experiência frustrante, especialmente após o evento já traumático de perda de um membro. Devido à “interface” não intuitiva, que lida com um complexo sistema mecatrônico, a demanda cognitiva para o controle da prótese é alta e atrasa ainda mais o uso real do dispositivo na vida cotidiana. Nesse sentido, Prahm *et al.* (2017) apontam que cerca 50% dos amputados de membro superior relatam problemas com o controle e a funcionalidade de próteses, o que pode ser atribuído à necessidade de receber mais treinamento no manuseio da prótese. Desta forma, ao fornecer mais oportunidades de treinamento, o usuário pode se beneficiar totalmente das funções técnicas destes equipamentos.

Ainda de acordo com Prahm *et al.* (2017), não é necessariamente fundamental o acesso a uma prótese para preparar o paciente a utilizá-la, visto que a recuperação da força

e coordenação muscular é um processo cognitivo exaustivo e repetitivo de movimentos que pode ser acompanhada usando feedback de sensores de eletromiografia. Através da variedade de estratégias de fisioterapia os pacientes precisam aprender a contrair os músculos adequadamente, sua força de ativação e isolamento de um único músculo, esses são parâmetros importantes para que o paciente esteja apto a controlar uma prótese.

Segundo Winslow, Ruble e Huber (2018), os pacientes que iniciam o tratamento de prótese logo em seguida da amputação, antes da chegada da prótese possuem melhores resultados. Porém, os atuais métodos de treinamento protético utilizam ferramentas que possuem alto custo de aquisição, restritas a uso hospitalar ou em consultórios, e ainda comumente específicos de fabricantes. Além disso, as ferramentas de treinamento atuais não coletam e relatam dados significativos para os médicos ou fisioterapeutas.

3.2 Processo de reabilitação

Segundo o Ministério da Saúde, a amputação deve ser sempre vista dentro de um contexto geral de tratamento e não como a sua única parte, cujo intuito é prover uma melhora da qualidade de vida do paciente. Para Porter (2005) e Leitão e Leitão (1995), o objetivo de um programa de reabilitação para amputados consiste em proporcionar ao paciente o desenvolvimento de habilidades do maior número de atividades possíveis sem a necessidade de usar uma prótese, como também, desenvolver exercícios a fim propiciar ao amputado independência funcional, resistência muscular, melhora do equilíbrio, da coordenação de movimento, com o objetivo de preparar o coto para que possa ser protegido. Nesse sentido Lianza (2001) acrescenta que, o programa fisioterapêutico deve ser capaz aperfeiçoar as habilidades remanescentes do paciente no intuito de obter o maior nível de função possível, possibilitando o retorno a sociedade e suas atividades cotidianas.

A reabilitação é um procedimento que exige o conhecimento sobre a enfermidade a ser tratada e as deficiências causadas no movimento. A cada dia, torna-se mais evidente a necessidade de embasamento científico sobre o corpo humano e suas respostas fisiológicas para uma consistente tomada de decisão, visando a recuperação das funções motoras, como o objetivo de prevenir e reduzir os riscos de novas lesões (JUNIOR *et al.*, 2012). Desta forma, Pedrinelli (2004) destaca a importância da avaliação funcional que define as capacidades residual e potencial, a partir das quais serão estabelecidos meios, metas e parâmetros de segmento para esse processo (PEDRINELLI, 2004).

O fisioterapeuta tem um papel fundamental na reabilitação, destacando a reeduca-

ção funcional do amputado, o acompanhamento do paciente em todas as fases do tratamento, fazer parte de uma equipe multidisciplinar com o intuito de supervisionar e tratar desde o estágio pré-operatório até na educação e mobilidade pós-protética, além de ter o controle de manutenção das funções músculo-esqueléticas (SCHWEITZER; MIQUEL-LUTI, 2004). Nesse sentido, Sampol (2000), ressalta a importância da presença de um fisioterapeuta no processo dinâmico, criativo, progressivo e educativo na reabilitação de amputados.

Com o intuito de suprir as necessidades dos pacientes, os centros de reabilitação buscam proporcionar um bem-estar físico, psicológico e social do paciente. Entretanto, é necessária participação ativa do indivíduo para qualquer resultado em um programa de reabilitação que, é muito influenciada pela atitude e motivação do paciente para a abordagem que está sendo exposto (ANWAR; ALKHAYER, 2016).

De acordo com Chamlian (2016), os pacientes podem apresentar algumas doenças, tais como diabete, hipertensão arterial, insuficiência renal crônica, dores relacionadas a amputação, sendo esse um desafio para os fisioterapeutas. Além disso Pinto (2001) ressalta que, poderá surgir limitações após o procedimento cirúrgico as quais podem interferir no seu bem-estar físico, como as sensações e dores fantasmas no membro amputado, dores no membro contralateral, dentre outras.

Com o intuito de promover uma melhor avaliação muscular dos pacientes, Voinescu *et al.* (2012) ressalta a nítida necessidade de compreender as forças do corpo humano, a fim de buscar uma redução do esforço necessário para realização de um movimento. Desta maneira, Portey (1993), destaca o emprego de ferramentas como a eletromiografia, que permite o estudo da função muscular por meio da captação do sinal elétrico que emana do músculo. Essa tecnologia vem sendo utilizada como um método objetivo e preciso para a avaliação das atividades musculares durante o processo de reabilitação física.

Desta forma, Hadjidj *et al.* (2013) apontam para a necessidade do desenvolvimento de sistemas eficazes para a supervisão da reabilitação física, de baixo custo, de fácil uso e que possam ser adequados para ambientes ambulatoriais ou residenciais. Sendo assim, uma alternativa de solução para esta demanda é o desenvolvimento de sistemas computacionais que possam ser aplicados nas diversas áreas da saúde.

3.2.1 Tratamento convencional

Tradicionalmente, o tratamento convencional e avaliação na reabilitação de pacientes é baseada na observação e julgamento de um fisioterapeuta, onde os métodos de avaliação dependem tipicamente da percepção visual, observando como as tarefas estão sendo executadas. Este processo necessita de um fisioterapeuta treinado, visto que este profissional irá, por determinado período, realizar o acompanhamento do progresso do paciente ao longo do tratamento (HONDORI; KHADEMI, 2014).

De acordo com as Diretrizes de Atenção a Pessoas Amputada (MS, 2013), visando reduzir o edema residual e dar forma ideal ao coto após a amputação, uma técnica de tratamento que deve ser utilizada é o enfaixamento compressivo. Também, deve-se orientar ao paciente sobre técnicas de dessensibilização, através de estimulações táteis com diferentes texturas, realizando contrações e exercícios utilizando o espelho.

Os programas convencionais de reabilitação física, normalmente, envolvem extensos exercícios repetitivos de amplitude de movimento e coordenação. Essa área da fisioterapia é conhecida como cinesioterapia, e tem como metas minimizar os efeitos da inatividade, corrigir ineficiência de músculos específicos ou grupos de músculos e encorajar o paciente a utilizar a habilidade reconquistada no desempenho de suas atividades funcionais normais, com o intuito de acelerar o processo de reabilitação. Estas ações requerem profissionais capacitados para supervisionar os movimentos dos pacientes e avaliar o seu progresso (GARDINER, 1995).

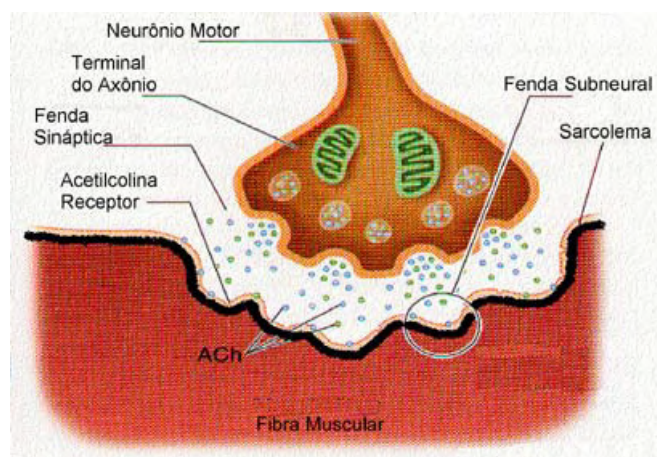
Embora o programa padrão de reabilitação ofereça benefícios funcionais diretos, suas principais deficiências são a falta de motivação para os pacientes, onde além da perda de funcionalidade os pacientes podem sofrer de depressão pós-traumática, diminuindo ainda mais a motivação ao tratamento (KOTILA *et al.*, 1998). Nesse sentido Dias, Sampaio e Taddeo (2009) destacam que, o longo tempo necessário para a promoção da consciência corporal, aceitação da deficiência e a pouca motivação gerada pelos métodos tradicionais são apontados como motivo de abandono do tratamento fisioterápico, caracterizando-se como uma das principais causas de falha terapêutica. Desta forma, é importante preparar o amputado para utilizar uma prótese através de um processo eficiente de treinamento.

3.3 O Sinal Mioelétrico e a Eletromiografia

A palavra *mioelétrico* engloba *mio* que vem do grego *mys* e significa músculo, e *elétrico* pertence a eletricidade. A partir disso, pode-se definir o sinal mioelétrico de maneira bem simples como a atividade elétrica produzida por uma contração muscular (MUZUMDAR, 2004).

Segundo Guyton (1998), uma unidade motora é utilizada para descrever o menor elemento muscular controlável, e é constituído por um neurônio motor, suas junções neuro musculares e as fibras musculares enervadas por esse neurônio. Cada músculo possui o seu nervo motor, o qual se divide em muitos ramos para controlar as células dos músculos, sendo conhecido como placa motora ou junção neuromuscular (Figura 5).

Figura 5 – Junção neuromuscular



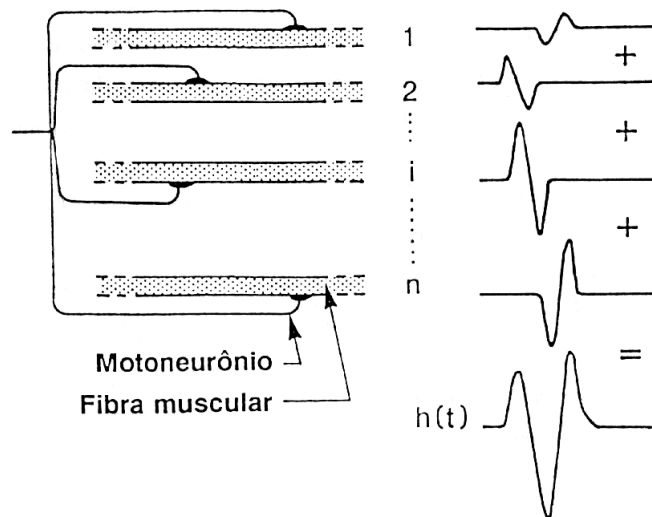
Fonte: Adaptado de Beltramini (1999).

O sinal mioelétrico ocorre quando um potencial de ação que chega ao terminal do axônio do neurônio motor e ocorre a liberação de acetilcolina, fazendo com que a membrana celular se torne mais permeável a íons de Sódio (Na^+). Esse aumento repentino da quantidade de íons no músculo gera um potencial de ação muscular, ou seja, ocorre uma despolarização que, reverte o potencial elétrico da membrana adjacente e se propaga na membrana da fibra muscular nas duas direções do músculo. Em seguida, advém o processo de repolarização no qual o potencial de repouso é restabelecido.

De acordo com Basmajian e Luca (1985), esse processo ocorre simultaneamente em todas as fibras que constituem a unidade motora, sendo que a soma algébrica das N fibras é chamada de potencial de ação da unidade motora (MUAP, do inglês *Motor Unit Action Potential*). A duração de um MUAP é aproximadamente 2 a 10ms com amplitude

de $100 \mu\text{V}$ a 2 mV e banda de 5 Hz a 10 kHz . A Figura 6 descreve o esquema de geração de um MUAP, onde $h(t)$ indica o resultado.

Figura 6 – Esquema de geração de um MUAP

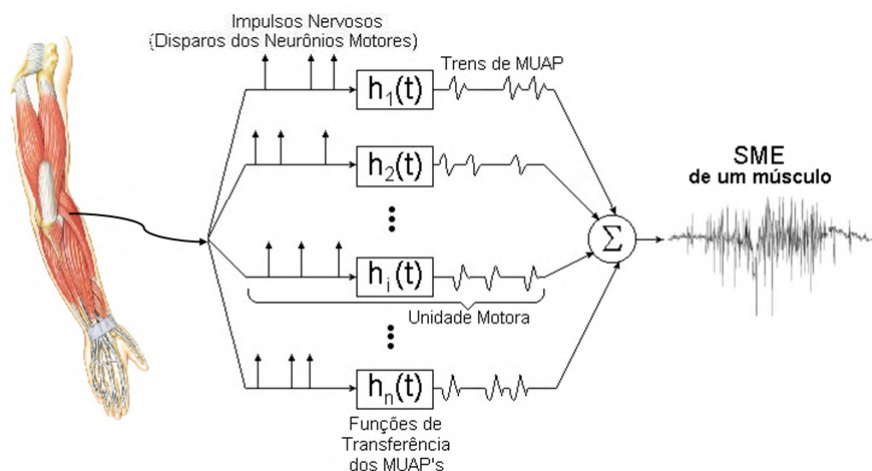


Fonte: Adaptado de Basmajian e Luca (1985).

Para sustentar uma contração muscular as unidades motoras devem ser ativadas por maiores períodos de tempo, cujo resultado da sequência de MUAP's é denominado trem de potencial de ação da unidade motora (MUAPT, do Inglês *Motor Unit Action Potential Train*). Desta forma, quando gerado uma contração muscular os MUAPT ao percorrem a fibra muscular produzem um campo eletromagnético nas redondezas da fibra, sendo que, um eletrodo localizado dentro deste campo é capaz de detectar o potencial elétrico, denominado sinal mioelétrico (SME) (BASMAJIAN; LUCA, 1985).

Robertson *et al.* (2013), ressalta que, o sinal mioelétrico pode ser influenciado por vários aspectos, como: o tipo de eletrodo, fluxo sanguíneo, tamanho e profundidade do músculo, interferência de músculos vizinhos, entre outros. A Figura 7 apresenta uma representação esquemática da geração do sinal mioelétrico a partir de um músculo.

Figura 7 – Representação esquemática da geração do sinal mioelétrico a partir de um músculo.



Fonte: Adaptado de Basmajian e Luca (1985)

A eletromiografia é percebida com a detecção, análise e uso do sinal elétrico resultante da contração dos músculos. O estudo destes sinais de grupos musculares específicos proporciona a composição de estudos para uma grande variedade de aplicações, como nas áreas de anatomia, reabilitação, fisioterapia, medicina, educação física, entre outras (CLARYS; LEWILLIE, 1992).

Segundo Ortolan (2002), o SME pode ainda ser utilizado em vários estudos como da função muscular normal, fadiga muscular e ergonômicos relacionados com atividades musculares. Também pode ser utilizado na detecção de esforço muscular durante atividades físicas, além de estudos e acompanhamento do desenvolvimento muscular em fisioterapias. Com estudos de movimento e fisiologia muscular o SME também pode ser utilizado em acionamento de próteses, em sistemas de estimulação elétrica neuromuscular e outros processos de reabilitação.

3.3.1 Eletrodos

Os eletrodos permitem a captação do SME, que pode ser obtido através de configurações monopolares e bipolares. Sendo que, a configuração monopolar obtém diferença entre potenciais de dois pontos, um deles o ponto de referência. Já para configuração bipolar, são necessários 3 pontos de detecção, onde são obtidos dois sinais em relação a um ponto de referência, e posteriormente, serão subtraídos. Para confecção dos eletrodos normalmente é utilizado de revestimento com cloreto de prata, por ser um metal nobre

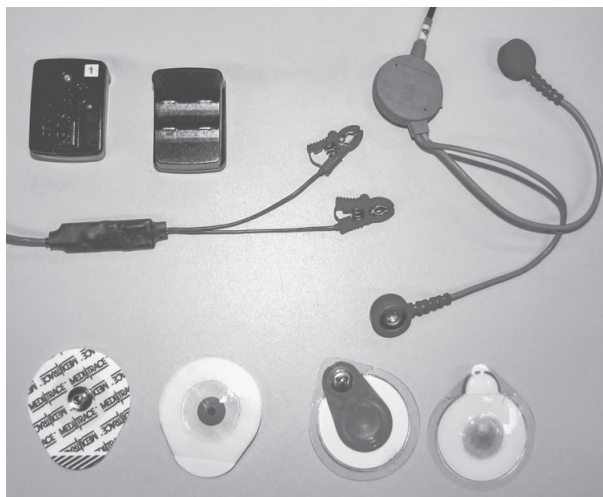
polarizável. Os eletrodos para detecção de SME podem ser classificados em invasivo e não invasivos (ORTOLAN, 2002).

De acordo com Basmajian e Luca (1985), os eletrodos invasivos são os de fio ou de agulha e, normalmente, são utilizados para análises clínicas, visto que, são capazes de detectar até mesmo o potencial de ação de uma única unidade motora e explorar a atividade isolada de músculos profundos. Tais eletrodos, embora permitam a aquisição de sinais que mostrem o comportamento da unidade motora em detalhes, possuem vários inconvenientes como a necessidade de excelente esterilização, o perigo da quebra dos fios dentro do músculo, e sobretudo o desconforto do paciente.

Para captação não invasiva do SME, é recomendado utilizar eletrodos de superfície, sendo esse um método conveniente apesar de gerar uma informação grosseira sobre a músculo, pois, capta a atividade de um músculo ou até um grupo muscular. Eletrodos de superfície são capazes de captar sinais até 500 Hz com amplitudes variando entre 50 μV e 5 mV dependendo do músculo analisado e da configuração do eletrodo utilizado (ALMEIDA, 1997).

Os eletrodos de superfície podem ser ativos ou passivos, sendo que, o eletrodo passivo consiste em um disco de cloreto de prata, e devem ser posicionados acima da pele. Normalmente utilizados em conjunto com gel ou pasta condutora, a fim de diminuir a impedância de contato entre o eletrodo e a pele. Além disso, os eletrodos passivos podem ser reutilizáveis ou descartáveis, onde já vem com gel condutor e adesivo, como também ser fixados com cintas ou fitas adesivas, respectivamente (ORTOLAN, 2002). A Figura 8 apresenta exemplos de eletrodos.

Figura 8 – Alguns exemplos de eletrodos EMG.



Fonte: Adaptado de Robertson *et al.* (2013).

Segundo Luca (2002), eletrodos ativos possuem um circuito de amplificação encapsulado no próprio eletrodo. Estes eletrodos também são conhecidos como eletrodos secos, e normalmente são bipolares e não necessitam o uso de gel condutor, pasta abrasiva ou a retirada dos pelos. A Figura 9, apresenta um exemplo de eletrodo ativo.

Figura 9 – Eletrodo EMG ativo diferencial.



Fonte: Adaptado de REKLAB².

Para obter a máxima potência do sinal o eletrodo deve ser posicionado na parte ventral do músculo, bem como na direção das fibras musculares. As áreas marginais do músculo são menos apropriadas, pois, apresentam um pequeno número de unidades motoras na área de captação do eletrodo (BASMAJIAN; LUCA, 1985). A Figura 10 ilustra o sinal miolétrico obtido em diversas partes de um músculo.

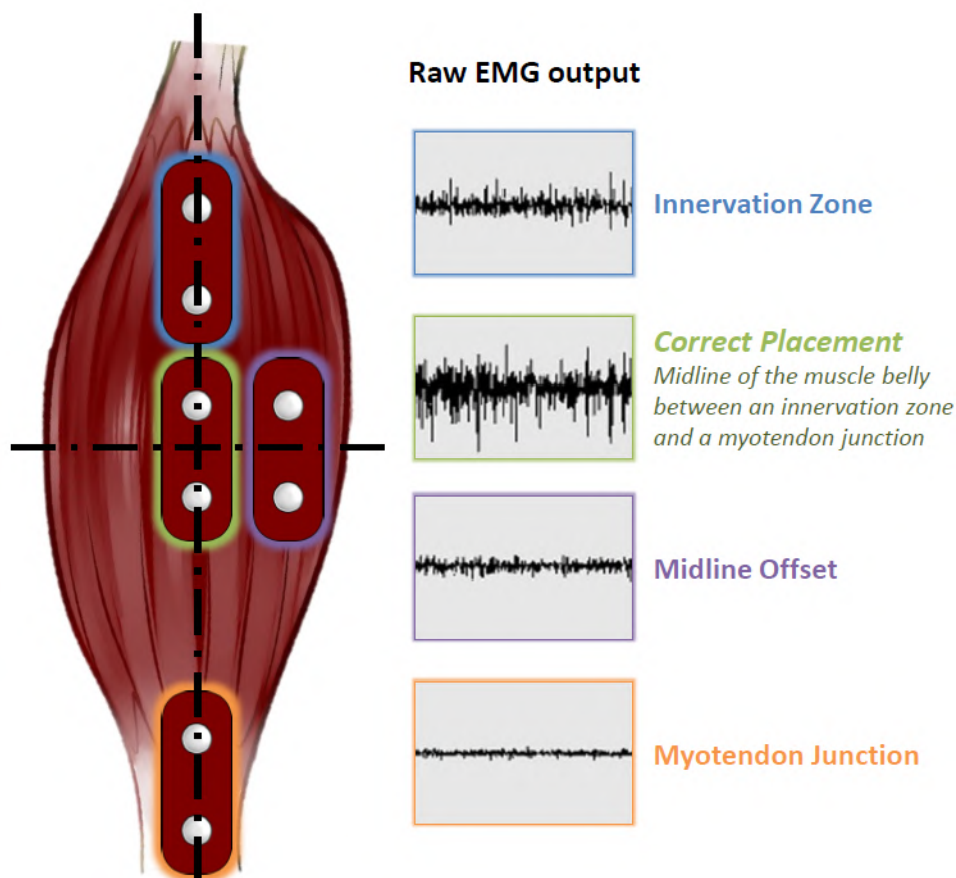
Segundo Basmajian e Luca (1985), as principais desvantagens dos eletrodos de superfície são: a impossibilidade de utilizá-los para detectar seletivamente sinais de músculos pequenos, visto que, os músculos adjacentes interferem no sinal captado, como também, a limitação no uso para músculos profundos. Contudo, são os mais recomendados para captar sinais de músculos superficiais, interfacear um indivíduo com dispositivos eletromecânicos, estudar a força e tempo de contração muscular.

Desta maneira Ortolan (2002), ressalta que, o uso de eletrodos de superfície torna-se viável para a implementação de projetos de reabilitação, tendo em mente também o conforto do paciente e a possibilidade deste se desconectar facilmente do equipamento.

3.4 Computação aplicada à saúde

Atualmente, as abordagens que se relacionam com a computação tem resolvido os mais diversos problemas e promovido soluções promissoras. Através da popularização da

Figura 10 – Sinal mioelétrico obtido em diferentes posições de um músculo.



Fonte: Adaptado de Myoware (2015).

computação em *software*, algumas abordagens têm sido aplicadas na área da saúde com intuito de obter diagnósticos mais efetivos e melhores resultados em comparação a soluções tradicionais. Isso se deve ao fato que as soluções computacionais têm a habilidade de adaptar-se de acordo com os problemas (GAMBHIR; MALIK; KUMAR, 2016).

O estudo da informática para práticas de medicina e prestação de cuidados com a saúde vem sendo cada vez mais fundamental. Assim sendo, ao invés da produção de novos medicamentos, máquinas raio-x ou até instrumentos cirúrgicos, as ferramentas computacionais são mais propensas a serem empregadas como diretrizes clínicas, sistemas de apoio a decisão, registros eletrônicos ou sistemas de comunicação, buscando melhores cuidados com a saúde possível (COIERA, 2015).

Ao longo dos anos, várias tecnologias foram surgindo e aplicadas na medicina, como a Inteligência Artificial, no qual pode ser usada para correlacionar dados, encontrar, avaliar diagnósticos de pacientes de maneira mais ágil, podendo minimizar os custos com assistência médica (DILSIZIAN; SIEGEL, 2014). Também, através da Big Data surgem

várias aplicações na biomedicina e ciências da saúde como, por exemplo, os dados de pesquisa de máquinas e redes sociais podem ajudar a coletar informações e monitorar condições de doenças epidêmicas em indivíduos (HUANG *et al.*, 2015).

Nesse sentido, segundo Nunes *et al.* (2011), a Realidade Virtual (RV) tem sido um campo importante em diversas aplicações na área da saúde nos últimos anos, contribuindo para que a própria tecnologia evolua em termos de *hardware* e *software*, de modo a suprir as demandas de aplicação. A RV aplicada à saúde constitui uma área de interesse crescente, com benefícios tanto para a saúde, quanto para o desenvolvimento das áreas tecnológicas. Isto se deve ao fato da viabilidade de reproduzir situações reais sem riscos aos pacientes, a diminuição do custo pela não necessidade do uso de objetos físicos e ainda a possibilidade visualizar ações que no mundo real são praticamente impossíveis de serem percebidas.

Além disso Burke *et al.* (2009), ressalta que, transferir protocolos tradicionais de reabilitação que utilizam a eletromiografia, para um cenário virtual e incorporar videogames ao processo de treinamento pode aumentar potencialmente o envolvimento e a perseverança do paciente. Onde, segundo Prahm *et al.* (2017), essa abordagem também fornece aos profissionais médicos dados quantitativos sobre o desempenho do paciente.

Neste contexto, as novas tecnologias de interação humano-computador, tal como jogos com o console Nintendo Wii, vêm ampliando ainda mais as perspectivas de uso dos ambientes virtuais por pessoas que sofreram diferentes tipos de traumas (BUTLER; WILLET, 2010). Segundo Piron *et al.* (2008), o Nintendo Wii é um console simples e conveniente modo virtual de terapia que vem sendo usado em todo o mundo para reabilitação.

Desta forma, é notório que existem diversas tecnologias que oferecem uma maior precisão no diagnóstico de pacientes. Além disso, a tecnologia tende a maximizar a participação dos indivíduos no processo de tratamento e recuperação, contribuindo no desenvolvimento de soluções mais dinâmicas e eficientes (PATEL *et al.*, 2012). Todas essas áreas podem ser contempladas em jogos com propósitos específicos, que servem tanto para o aprendizado de novos conceitos, quanto para o treinamento ou desenvolvimento de novas habilidades (MACHADO *et al.*, 2011).

3.5 Jogos sérios

Os jogos sérios, em inglês *serious game*, são considerados valorosos no mercado de negócios. Segundo Ben Sawyer, cofundador da *Serious Game Initiative*, os mercado dos jogos sérios fatura 20 milhões de dólares por ano na indústria, comparado ao *digital gaming* com 10 bilhões de dólares, e a expectativa do mercado é crescer mais nas próximas décadas (ECK, 2006).

Jogos sérios podem ser aplicados em um amplo espectro de áreas de aplicações como militar, governo, educação, empresa, saúde, entre outros (SUSI; JOHANNESSON; BACKLUND, 2007). Porém, muitos desenvolvedores de jogos e jogadores profissionais relatam que todos os jogos são "jogos sérios", ou seja, vivem o desenvolvimento de jogos ou vivem jogar jogos e, desta forma, do ponto de vista de seu trabalho os jogos são considerados sérios. Nesse sentido, para a maioria da população, "jogo sério" soa como um oxímoron (às duas palavras são vistas como exclusivas). Desta forma, uma simples definição que muitos profissionais utilizam, é que jogos sérios são jogos no qual tem como objetivo primário a educação, depois o entretenimento (MICHAEL; CHEN, 2005).

O primeiro conceito de *serious game* foi introduzido por Abt (1987), no qual descreve jogos sérios como tendo um explícito e cuidados propósito educacional, onde podem ser jogados seriamente ou casualmente. Sua intenção não é primeiramente a diversão, porém, não significa que não possa haver entretenimento. Desta forma, utilizam abordagens inovadoras de jogos para aprimorar a educação na ciência física e social, escolhas ocupacionais e treinamento, planejamento de soluções de problemas governamentais e industriais.

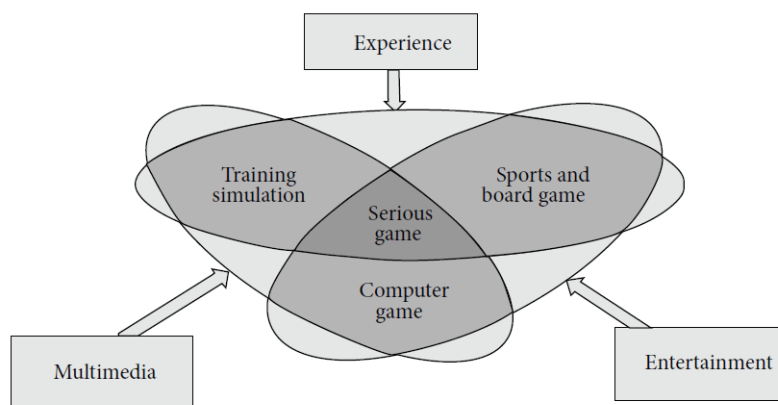
Zyda (2005), explica o conceito de *serious game* de uma forma mais formal, onde o entretenimento é explicitamente um ingrediente. "*serious game*: Uma disputa mental, jogado com um computador de acordo com regras específicas, os usos de entretenimento vão além do governo ou treinamento corporativo, educação, saúde, polícia pública, e objetivos estratégicos de comunicação". Quando comparado *serious game* com apenas jogos de computadores, argumenta que, *serious game* é mais que apenas uma história, arte e *software*. É a adição da pedagogia (atividades de educação e instrução, transmitindo conhecimento e habilidades) que constitui jogos sérios.

Segundo Laamarti, Eid e Saddik (2014), há varias perspectiva de definição para de *serious game*, tanto na academia, como na indústria. Na hora decidir se um jogo específico é um *serious game* ou não pode causar problemas, visto que seria necessário o acesso

aos objetivos e intenções do desenvolvedor do jogo no momento do desenvolvimento, o que é longe de ser prático. Um jogo sério tem o potencial de mudar a experiência do usuário através da interação, podendo ser aplicado em diferentes contextos, como a educação, treinamento, saúde, ou comunicação interpessoal. Muitos pesquisadores concordam que os jogos sérios digitais contêm diferentes meios de comunicação, no qual podem ser combinados com texto, gráficos, animações, áudio, haptic (alguma forma de interação envolvendo *touch*), entre outras.

Além disso, o termo *serious* de *serious game*, vem da função de transmitir alguma mensagem ou entrada, conhecimento, habilidade ou algum conteúdo ao jogador. Desta forma, definem *serious game* com três componentes: experiência, entretenimento e multimídia. A Figura 11 apresenta um diagrama contendo as diferenças entre *serious game* e algumas terminologias, como simulação de treino, jogos de computador e esportes (LAAMARTI; EID; SADDIK, 2014).

Figura 11 – Definição de *serious game*.



Fonte: Adaptado de Laamarti, Eid e Saddik (2014)

Segundo Michael e Chen (2005), os *Serious Game* não deixam de ser jogos, portanto, compartilham muitos dos problemas de *design* e desenvolvimento de outros modelos de jogos. O mercado dos jogos sérios tem uma maior variedade de *hardware* e sistemas para operação. Além disso, o mercado não inclui apenas jogadores experientes, mas possivelmente jogadores iniciantes, o que acarreta na necessidade dos jogos serem mais acessíveis. Nos jogos sérios é mais importante que o modelo ou simulação possa ser usado para resolver um problema, do que promover ricas experiências, comparado aos *hardcore gamers*.

Para os jogos sérios, o mais importante elemento de aprendizagem está no foco,

na necessidade de realizar a solução de maneira correta e desenvolver os corretos tipos de habilidades propostas. Por outro lado, os jogos de entretenimento permitem diversão aos jogadores através de diversas técnicas, como número randômicos e compressão de tempo, para simplificação dos processos. Porém, para os jogos sérios é necessário repensar nesses aspectos da simulação. Por exemplo, as decisões devem responder mais as escolhas do usuário do que ao acaso, portanto, decisões aleatórias podem ser inadequadas. Também, em jogos de entretenimento a comunicação em muitos casos, é perfeita (sem atrasos, erros, etc.), o que em jogos sérios é usada raramente, pois busca uma simulação mais realista ao usuário (MICHAEL; CHEN, 2005).

A Tabela 1 apresenta algumas diferenças entre *serious game* e jogos de entretenimento.

Tabela 1 – Diferenças entre *serious game* e jogos de entretenimento.

| Característica | Serious game | Jogos de entretenimento |
|-----------------------------|--|--|
| Tarefa vs. rica experiência | Foco na solução do problema | Preferência de rica experiência |
| Foco | Importância dos elementos de aprendizagem | Diversão |
| Simulação | Hipótese necessárias para funcionamento da simulação | Simplificação do processo de simulação |
| Comunicação | Deve refletir de maneira natural (não perfeita) | Comunicação frequentemente perfeita |

Fonte: Adaptado de Susi, Johannesson e Backlund (2007).

A construção de um *serious game* é mais que simplesmente desenvolvimento de um jogo tradicional. A equipe necessita interagir com cientistas ou especialista no assunto que, compreendem a performance humana (ZYDA, 2005). Nesse sentido, Susi, Johannesson e Backlund (2007) ressalta a importância de definir claramente o problema e como a tecnologia será empregada na solução. É igualmente importante não apenas a tecnologia envolvida no desenvolvimento, a entrega da solução e a interface do usuário, mas também que a solução seja envolvente, agradável e fácil de usar, promovendo uma experiência desafiadora e recompensadora ao usuário.

3.6 Microcontroladores

Inicialmente, para melhor compreensão dos conceitos de microcontroladores serão abordados alguns conceitos relacionados a microprocessador. Assim sendo, o microprocessador Intel foi um dos precursores, e, a partir daí, houve uma preocupação em melhorar cada vez mais o sistema de processamento de dados por meio desses componentes. Com base na arquitetura de um microprocessador e seus periféricos, foi criado um componente (fisicamente integrados em uma única unidade) que comporta todo um sistema com um microprocessador e seus periféricos. Assim, surgem os microcontroladores, onde com o passar dos anos e os avanços da tecnologia, tornaram-se uma das melhores relações custo/benefício se tratando de soluções que demandam processamento, baixo custo de *hardware* e pequena necessidade de espaço físico (MARTINS, 2005).

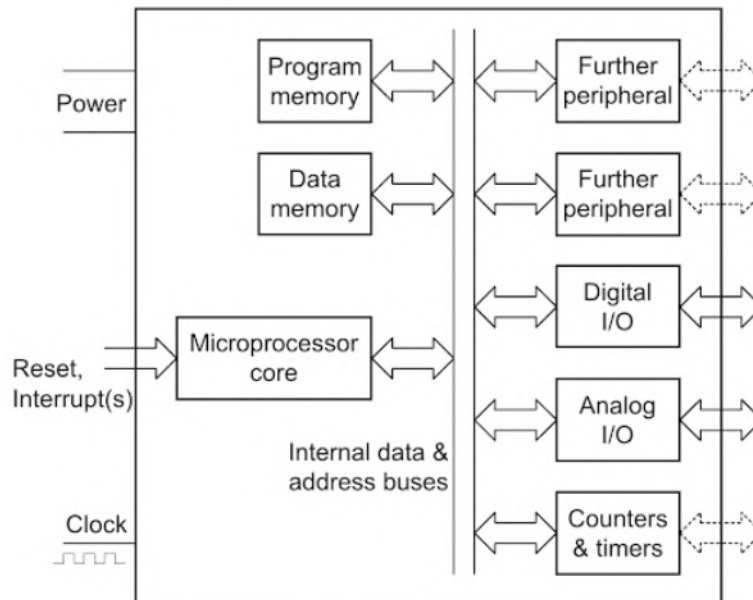
Os microcontroladores vem ocupando cada vez mais espaço no cotidiano da população, onde, aliado ao baixo custo, uma grande facilidade de manutenção, sofisticação e personalização, os microcontroladores estão recebendo diversas aplicações na indústria eletrônica (PEREIRA, 2004). Estão presentes em quase tudo o que envolve a eletrônica de consumo, gerenciando tarefas internas de aparelhos eletroeletrônicos (MARTINS, 2005). Segundo Pereira (2004) um microcontrolador é um dispositivo eletrônico capaz de seguir uma sequência predeterminada de comandos, dotado internamente de dispositivos periféricos necessários para o seu funcionamento e relacionamento com o seu mundo exterior de forma autônoma.

Segundo Pereira (2004), muitas pessoas utilizam a expressão "computador em um único chip" para definir o conceito de microcontrolador. As facilidades da utilização deste dispositivo são inúmeras, dentre elas: a redução do número de componentes, já que os algoritmos de controle passam a ser implementados no programa em execução no microcontrolador, a facilidade de implementação e alteração destes algoritmos, uma vez que é preciso apenas alterar o programa no microcontrolador, além da redução do tempo necessário para criação de projetos.

Segundo Wilmshurst (2006), essencialmente, o microcontrolador contém um simples microprocessador, com toda a memória de programa e dados necessária. Acrescenta periféricos que permitem a interface realizar tarefas, além de inclui portas digitais/analógicas de entrada e saída, contadores e elementos de temporização. Como qualquer outro circuito eletrônico, o microcontrolador necessita entrada de energia e um sinal de *clock* (normalmente gerado internamente) que permite o devido funcionamento do cir-

cuito lógico interno ao dispositivo. A Figura 12 apresenta uma visão genérica de um microcontrolador.

Figura 12 – Microcontrolador genérico.



Fonte: Adaptado de Wilmshurst (2006).

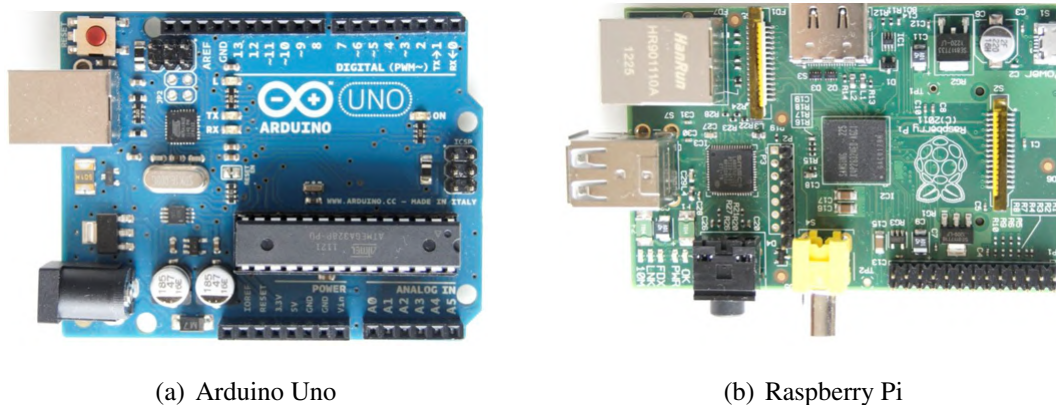
Por meio da abordagem dos aspectos teóricos e práticos de microcontroladores, é possível desenvolver projetos e implementações de sistemas microcontrolados de pequeno e médio portes (MARTINS, 2005). Os microcontroladores são utilizados em diversas aplicações como impressoras a laser, smartphones, monitores, sistemas de posicionamento global, dispositivos inteligentes, aplicações militares e veiculares, entre outras possíveis (NAEEM; ARSHAD; ASHRAF, 2014).

Atualmente, existem muitas plataformas para desenvolvimento de soluções com microcontroladores e microprocessadores, onde cada modelo é adaptado para determinadas aplicações. Nesse contexto, a plataforma Arduino vem se tornando promissora em seu uso como microcontrolador (MEIKE, 2012). Desta forma, será realizado uma comparação entre a plataforma Arduino e o Raspberry Pi, que por sua vez, é um microprocessador. Cada uma tem suas vantagens e desvantagens, onde uma plataforma é melhor para cada tipo de aplicação.

O Arduino oferece várias formas de exploração de seu uso, dispõe dos mais variados tamanhos e modelos. Tem um ambiente de programação agradável, e uma interface fácil de usar. O Arduino é melhor para projetos de propósito simples, visto que seu uso é melhor aproveitado para interagir com objetos do mundo real. Já o Raspberry Pi, é

uma plataforma baseada em Linux, com a possibilidade do uso de diferentes sistemas operacionais, e é recomendado para projetos que requerem interface gráfica e/ou Internet (CASCO, 2017). A Figura 13 apresenta um exemplo das plataformas de prototipagem discutidas.

Figura 13 – Exemplos de plataformas de prototipagem



(a) Arduino Uno

(b) Raspberry Pi

Fonte: Adaptado de Meike (2012).

3.6.1 Arduino

Desde o início do Arduino Project, em 2005, mais de 500 mil placas Arduino foram vendidas no mundo. A maior vantagem do Arduino comparado com outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores é sua facilidade de utilização, o que permite pessoas que não sejam de áreas técnicas possam aprender e desenvolver seus projetos com pouco conhecimento de programação. A plataforma *open source* é utilizada para construir e programar eletrônicos, capaz de enviar e receber informações de vários dispositivos, como sensores, antenas, potenciômetros, entre outros (BANZI, 2011). Nesse sentido, Rocha *et al.* (2013) relata que o Arduino é dito como uma plataforma de computação física, no qual sistemas digitais ligados a sensores e atuadores são capazes de medir variáveis no ambiente físico, realizar cálculos numéricos, e tomar decisões lógicas no ambiente computacional gerando novas variáveis no ambiente físico.

Alguns dos pontos positivos do Arduino é a vasta documentação sobre aplicações e de troca de experiências entre usuários, outro ponto, é a possibilidade de encontrar diferentes versões da placa Arduino com custo relativamente baixo. Também, é possível encontrar instruções de montagem a partir dos componentes eletrônicos básicos, o que

pode atender o interesse de professores e alunos com maior capacitação em eletrônica (SOUZA *et al.*, 2011). A Figura 14 apresenta algumas plataformas Arduino encontradas no mercado.

Figura 14 – Diferentes plataformas de prototipagem Arduino.



Fonte: Adaptado de Arduino.³

As versões da plataforma que mais se destacam, são: Arduino Uno e Arduino Mega. Desta forma, comparando as duas plataformas, o Arduino Uno possui um microcontrolador ATMEGA328P, 14 portas digitais, sendo que 6 delas podem ser usadas como saídas PWM⁴ (Pulse Width Modulation) e 6 portas analógicas. Por outro lado, a plataforma Mega é uma versão mais complexa da placa Arduino, com Microcontrolador ATMEGA 2560 e 54 portas digitais, das quais 15 podem ser usadas como PWM, além de 15 portas analógicas, sendo o ideal para projetos mais elaborados que exijam grande número de entradas e saídas (THOMSEN, 2014). A Tabela 2 apresenta uma comparação mais detalhada entre as plataformas.

⁴PWM: é uma técnica utilizada por sistemas digitais para variação do valor médio de uma forma de onda periódica.

Tabela 2 – Comparação entre Arduino Uno e Arduino Mega 2560.

| | Uno | Mega 2560 |
|--|------------|------------------|
| Microcontrolador | ATmega328 | ATmega2560 |
| Portas Digitais | 14 | 54 |
| Portas PWM | 6 | 15 |
| Portas Analógicas | 6 | 16 |
| Memória | 32K | 256K |
| Clock | 16Mhz | 16Mhz |
| Alimentação Externa | Sim | Sim |
| Tensão de Operação | 5V | 5V |
| Corrente máxima E/S | 40mA | 40mA |
| Alimentação | 7-12Vdc | 7-12Vdc |
| ADC (Conversor analógico digital) | 10 bits | 10 bits |

Fonte: Adaptado de Arduino.⁵

Assim, visto a possibilidade de integração com diversos tipos de sensores, permitindo a aplicação em várias áreas, a próxima seção apresenta conceitos referentes a sensores, bem como sua utilização em conjunto com a plataforma Arduino.

3.6.2 Sensores

Os sensores estão presentes por toda parte em nosso dia a dia, nas mais variadas aplicações, desde infravermelhos passivos, detectores de movimento, acelerômetros, módulos GPS e câmeras de smartphones. Visto o aumento da variedade de dispositivos inteligentes a utilização dos sensores tem sido impulsionada pela acessibilidade, não só por ser economicamente viável, mas também, por ser possível expandir largamente as categorias de projetos (KARVINEN; KARVINEN, 2014).

Ainda de acordo com Karvinen e Karvinen (2014), os sensores são componentes elétricos que funcionam como dispositivos de entrada. Considerando um mouse de um computador, um teclado ou até uma webcam, que por sua vez, não são sensores, entretanto utilizam sensores no seu *design*. Assim sendo, é possível enquadrar os sensores como um componente para mensurar um estímulo que é externo ao sistema principal.

Na área da saúde, Hadjidj *et al.* (2013) explica, que sistemas baseados em senso-

res podem avaliar o movimento humano sem interferir em seus comportamentos naturais, possibilitando definir um nó sensor como um conjunto de componentes. Estes componentes englobam sensores para coleta de dados, um microcontrolador para processamento, um transmissor-receptor para transmissão de dados, e ainda uma bateria para alimentar o circuito do dispositivo, que, tornam viável obter informações sobre movimento, posição, direção e estado fisiológico, por exemplo.

Nesse sentido, diversas aplicações na área da saúde permitem a utilização de sensores. Um exemplo disso são os sensores de eletromiografia, que, viabilizam o estudo da função muscular por meio da captação do sinal elétrico que emana do músculo, apresentando sucesso para a avaliação da atividade muscular durante o processo de reabilitação física (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

3.7 Trabalhos correlatos

Nesta seção serão apresentados os trabalhos que se correlacionam com a solução proposta, no qual foram selecionados 5 projetos de pesquisa que se assemelham ao objetivo proposto. Além disso, foram elaboradas algumas considerações acerca dos trabalhos em relação à solução computacional proposta neste trabalho.

3.7.1 Feel Your Arm

O trabalho intitulado “Feel your Arm: Serious Game para apoio à reabilitação utilizando dispositivo vestível Myo”, de Fernandes, Cardoso e Júnior (2016), apresenta uma proposta que utiliza a Realidade Virtual, com o dispositivo vestível Myo para o tratamento de pessoas com ausência cognitiva e/ou adquirida de antebraço. O trabalho tem como objetivo motivar os indivíduos a utilizar uma prótese.

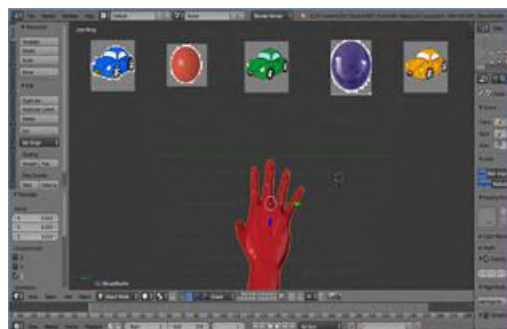
O Wearable Myo (Figura 15), ao invés de reproduzir diretamente os movimentos como a plataforma Kinect da Microsoft, tem formato de bracelete e fica posicionado no braço do usuário. Através do contato com a pele, a atividade elétrica dos músculos do braço, traduzindo os mínimos movimentos para um computador com capacidade de controlar funcionalidades no jogo. Basicamente, o *Feel Your Arm* possui 3 fases, onde o paciente deve pegar a maior quantidade de objetos (brinquedos, alimentos ou dispositivos tecnológicos, respectivamente para casa fase do jogo) possíveis de maneira correta em

menor tempo utilizando a prótese, com o objetivo de obter maior pontuação. Espera-se que o indivíduo se torne mais motivado para utilizar uma prótese na vida real. A Figura 15 apresenta a modelagem dos objetos na primeira fase do jogo.

Figura 15 – Jogo *Feel Your Arm*.



(a) Werable Myo



(b) Modelagem dos objetos na primeira fase do jogo *Feel Your Arm*




Fonte: Adaptado de Fernandes, Cardoso e Júnior (2016).

A solução proposta possui funcionalidade que permite o acompanhamento da evolução do paciente, porém pode haver limitações no uso do dispositivo vestível Myo, visto que, o tamanho do dispositivo é limitado, podendo restringir o número de indivíduos possíveis para utilização da solução.

3.7.2 Reabilitação baseada em jogos para controle de próteses mioelétricas de membros superiores

O trabalho de Prahm *et al.* (2017) propõe o uso de jogos que utilizam Realidade Virtual como uma intervenção para aprimorar o controle dos sinais mioelétricos, separação de eletrodos e ativação muscular, sendo que, o estudo foi realizado com um grupo de pessoas, que em parte nunca tiveram experiência em controlar próteses. Os sinais mioelétricos são obtidos por eletrodos localizados nos músculos residuais do membro, são tratados e enviados aos jogos, realizando ações distintas para cada *game*. Como pode ser observado na Figura 16, foram considerados diferentes tipos de contrações para cada jogo. Porém, os mesmos apresentam ações similares, tais como movimentar para cima, baixo, esquerda ou direita.

Figura 16 – Jogos utilizados no processo de reabilitação.

| <i>Jogos</i> | Electrode Activation | |
|---|--|---|
| | <i>Controles do Jogo</i> | <i>Muscle Contraction</i> |
| Dexterity: Pospos  | Mover jogador: esquerda, direita, para cima e para baixo | Contrações sustentadas e simultâneas |
| Racing: SuperTuxKart  | Virar carro para esquerda e direita | Contrações rápidas e sustentadas |
| Rhythm: Step Mania 5  | Acertar as setas apontando para a esquerda, direito e ambos lado | Contrações rápidas, sustentadas e simultâneas |

Fonte: Adaptado de Prahm *et al.* (2017).

Os resultados da pesquisa indicaram que os indivíduos que utilizaram os jogos demonstraram um aumento significativo nas três avaliações básicas de EMG. Apesar do usuário conseguir se desenvolver de forma autônoma, as tarefas realizadas não há níveis diferentes para os níveis de habilidade do usuário.

3.7.3 Ambiente integrado para tratamento de dor de membro fantasma e treinamento de prótese modular

O trabalho de Perry *et al.* (2013) apresenta um ambiente virtual integrado para auxiliar no tratamento de dores de membro fantasma para amputados de membros superiores e treinamento modular de membros protéticos. Inicialmente, os indivíduos foram submetidos a algumas sessões de treinamento no ambiente virtual integrado (Figura 17) onde os pacientes devem repetir os movimentos apresentados no ambiente virtual. Os sinais EMG são coletados e comparados com o resultado esperado para determinar se o indivíduo conseguiu realizar o movimento desejado e calcular a sua precisão. Vários

movimentos diferentes foram apresentados pelo ambiente virtual. A medida em que o indivíduo efetuava um movimento com precisão, ele avança para o próximo movimento, que por sua vez, implica um nível de dificuldade maior.

Ao realizar um teste com paciente, o mesmo obteve uma alta taxa de precisão e conseguiu efetuar todos os movimentos durante o treinamento no ambiente virtual integrado. O indivíduo utilizou a prótese modular e conseguiu realizar diversos movimentos previamente executados no ambiente virtual, conforme apresenta a Figura 17.

Figura 17 – Ambiente integrado para tratamento de dor de membro fantasma e treinamento de prótese modular



(a) Interface do usuário no ambiente virtual



(b) Operação de membro protético modular por amputado

Fonte: Adaptado de Perry *et al.* (2013).

As tarefas propostas para esta aplicação consiste na repetição dos movimentos apresentados no ambiente virtual, não havendo nenhuma interações com o mesmo. O usuário ainda não possui a chance de visualizar os movimentos que seriam gerados pelos dados de entrada, visto que para a validação da tarefa é efetuada uma comparação entre os sinais gerados pelo usuário e os esperados para cada tarefa.

3.7.4 Desenvolvimento de um jogo sério para treinamento de amputados de membro superior

O projeto desenvolvido por Cavalcante *et al.* (2018), propõe o desenvolvimento de um ambiente virtual de treinamento, com o intuito de minimizar o tempo de adaptação a uma prótese real, o qual utiliza um tirante com sensores para captura da força exercida sobre o mesmo e a movimentação do antebraço do usuário como dispositivo de entrada do sistema, conforme apresenta a Figura 18

O jogo consiste em apresentar ao usuário uma série de atividades em que o mesmo deve mover objetos de tamanhos e formatos distintos de um ponto até outro, determinado no ambiente virtual. Os objetos variam entre cilíndricos, esféricos e cúbicos. A Figura 18 apresenta o segundo cenário do jogo proposto.

Figura 18 – Desenvolvimento de um jogo sério para treinamento de amputados de membro superior



(a) Estrutura do tirante com sensores



(b) Segundo cenário do jogo proposto

Fonte: Adaptado de Cavalcante *et al.* (2018).

Com base no questionário realizado pelos desenvolvedores, a solução mostrou-se consistente e adequada ao propósito do trabalho. Dado que, o sistema utiliza de um tirante e não possui sensores de força muscular, a solução não visa a reabilitação física do paciente do ponto vista muscular, tendo em vista a futura utilização de uma prótese, no qual é necessário o controle da força muscular exercida pelo coto do paciente.

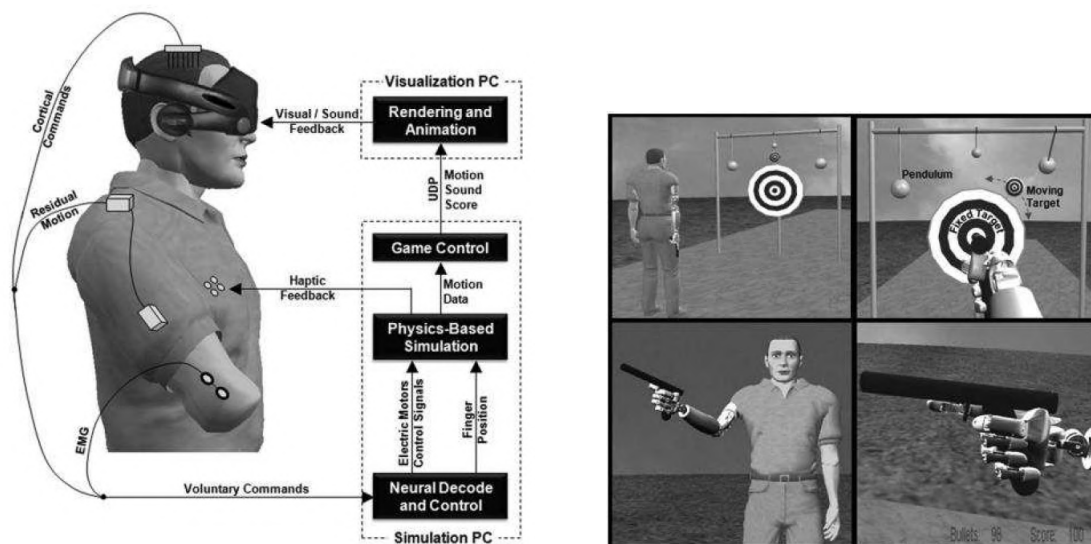
3.7.5 Jogo de tiro como ferramenta para reabilitar amputados que utilizam próteses articuladas no membros superiores

A pesquisa apresentada por Davoodi e Loeb (2012), propõe o desenvolvimento de uma interface de Realidade Virtual que consiste em um jogo de tiro ao alvo. O usuário pode interagir com a aplicação por meio de sinais EMG, atividade neural cortical ou movimentos voluntários dos membros restantes. A Figura 19 apresenta a arquitetura, o ambiente computacional e a interface do usuário da solução.

O objetivo é movimentar uma prótese virtual para mirar e atirar em alvos localizados no ambiente virtual. Além da movimentação da prótese, o usuário deve controlar o dedo que vai acionar a arma e realizar o disparo. A aplicação utiliza de sons e exibe um placar dos pontos obtidos para que o usuário saiba o quão perto ele está de finalizar o

nível (Figura 19). Ainda há um *feedback* tátil que proporciona ao usuário a sensação do disparo da arma.

Figura 19 – Jogo de tiro como ferramenta para reabilitar amputados que utilizam próteses articuladas no membros superiores



(a) Arquitetura, ambiente computacional e interface do usuário

(b) Ambiente virtual do jogo desenvolvido

Fonte: Adaptado de Davoodi e Loeb (2012).

Ao jogar o usuário não necessita medir seus impulsos ao acionar o gatilho da arma, ou seja, o usuário deve acionar o gatilho sem a necessidade de controlar a força com que o acionará. Porém, para um paciente obtenha maior controle sobre uma prótese, é necessário controlar a intensidade de seus movimentos, o que difere da solução proposta neste trabalho.

3.7.6 Análise comparativa

A partir dos estudos realizados sobre os trabalhos correlatos, foi possível avaliar suas características e compará-las com a solução proposta neste trabalho. Nesse sentido, foram estabelecido cinco quesitos para a comparação, são eles:

- Tecnologia de Interação: as tecnologias que permitem aos usuários da aplicação interagirem com o ambiente desenvolvido (sensores);
- Adaptabilidade: as aplicações se adaptam à medida que o usuário avança, ou seja,

possuem diferentes níveis de dificuldade de forma que não sejam muito fáceis ou difíceis;

- *Feedback*: o paciente recebe informações do seu progresso de diferentes formas. Sendo durante o jogo, com retorno visual ou auditivo, como também, visualização de um resumo de seu progresso;
- *Autonomia*: a solução permite que o paciente treine sem a ajuda de um fisioterapeuta na maior parte do tempo;

Para uma melhor análise comparativa, a Tabela 3 foi criada, comparando os quesitos acima com os trabalhos correlatos apresentados.

Tabela 3 – Análise comparativa entre o trabalhos correlatos e a solução proposta.

| Trabalhos | Características | | | |
|--------------------------------------|--|----------------|----------|-----------|
| | Tecnologia de Interação | Adaptabilidade | Feedback | Autonomia |
| Prahm <i>et al.</i> (2017) | Sensores EMG | Não | Sim | Sim |
| Perry <i>et al.</i> (2013) | Sensores EMG | Sim | Não | Sim |
| Cavalcante <i>et al.</i> (2018) | Tirante | Sim | Sim | Sim |
| Davoodi and Loeb (2012) | Sinal EMG/atividade neural cortical/ movimentos voluntários dos membros restantes | Sim | Sim | Sim |
| Fernandes, Cardoso and Júnior (2016) | Werable Myo | Sim | Não | Sim |
| Solução Proposta | Sensores EMG | Sim | Sim | Sim |

Fonte: Autor (2019).

Analisando os trabalhos relacionados, é possível perceber que as 5 soluções, em parte, assemelham-se a proposta do presente trabalho. O trabalho de Cavalcante *et al.* (2018), Davoodi e Loeb (2012), possuem características bem próximas ao proposto, como adaptabilidade, o *feedback* e a autonomia do paciente. Porém, ao invés de utilizar apenas os sensores EMG aplicam-se outras tecnologias de interação, bem como, difere na interface do jogo desenvolvida. Perry *et al.* (2013), Fernandes, Cardoso e Júnior (2016), não apresentam maneiras de obter informações acerca do progresso do usuário, que por sua vez, se desencontra com a solução proposta neste trabalho, visto, a necessidade do *feedback* ao paciente e para o fisioterapeuta.

Por fim, é possível analisar que o trabalho de Fernandes, Cardoso e Júnior (2016) não possui funcionalidade que permitem o acompanhamento da evolução do paciente, bem como, pode haver limitações de tamanho no uso do Werable Myo, sendo que, utilizando um sensor EMG, há maior flexibilidade na manipulação no coto do paciente.

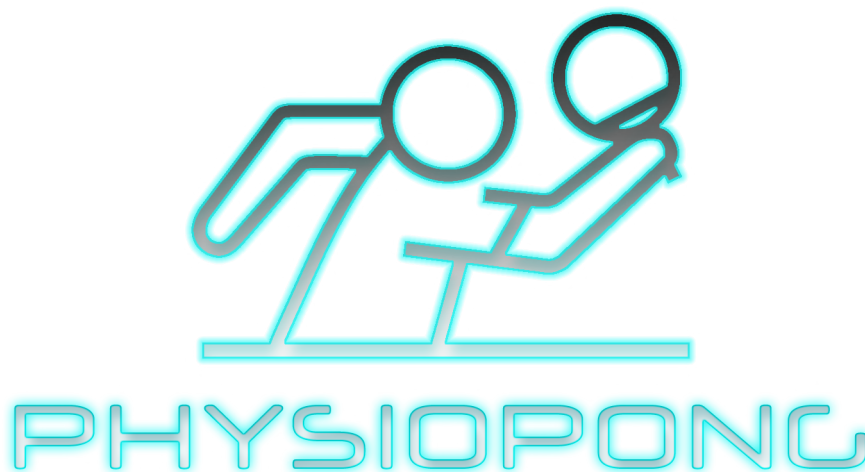
4 PHYSIOPONG

Neste capítulo serão apresentados os conceitos que envolvem a idealização, construção e o desenvolvimento do projeto PhysioPong. Desta maneira, será apresentado inicialmente uma breve descrição sobre o sistema. Em seguida, uma visão da modelagem e planejamento do *software* com a apresentação da documentação de análise do sistema. Posteriormente, é descrita a implementação da solução e as tecnologias utilizadas. Por último, discuti-se os testes realizados permitindo a validação da ferramenta.

4.1 Descrição da proposta

De acordo com os conceitos estudados nos capítulos um e dois, foi proposta uma solução intitulada PhysioPong, no qual *Physio* vem do inglês *physiotherapy*, que significa fisioterapia. A palavra *Pong* vem da solução computacional a ser construída que, por sua vez, é baseada no *game* Pong da empresa Atari Inc¹. A Figura 20 apresenta a identidade visual do jogo desenvolvido.

Figura 20 – Identidade visual do jogo PhysioPong



Fonte: Autor (2019).

O *game* Pong consiste em um jogo de duas dimensões que simula um tênis de mesa, onde o jogador pode controlar uma paleta/barra/raquete movendo-a verticalmente, competindo contra o computador ou outro jogador que controla uma segunda raquete do

¹<<https://www.atari.com/>>

outro lado da tela. O objetivo do jogo é rebater a bolinha para o outro lado da mesa tentando viabilizar o erro do seu adversário e, desta forma pontuar. Contudo, devido à necessidade de redução da complexidade do *game* foram efetuadas modificações sobre a versão original, onde foi desenvolvida uma versão simplificada de apenas um jogador. Desta forma, o PhysioPong possui como objetivo rebater a bolinha para o outro lado da mesa, onde o paciente pode controlar a paleta horizontalmente na parte inferior da tela através de dois sensores EMG.

A Figura 21 representa um esquema da arquitetura do sistema PhysioPong, sendo possível observar o conceito da utilização de sensores, uma plataforma de *hardware* com microcontrolador e uma interface, onde o jogo é reproduzido.

Figura 21 – Esquema da arquitetura do sistema PhysioPong.



Fonte: Autor (2019).

Cabe salientar que, o estudo e desenvolvimento desta proposta foi realizado com o apoio do Serviço de Reabilitação Física (SRF) da cidade de Bagé-RS. Esta colaboração acrescenta ao projeto o conhecimento de profissionais da área de fisioterapia, tornando-os responsáveis por apontar os requisitos necessários para o desenvolvimento do sistema. Também, são responsáveis por selecionar os pacientes habilitados a participarem dos experimentos com a solução desenvolvida, além de realizar acompanhamento do processo de desenvolvimento da ferramenta e execução de testes com pacientes amputados.

Atualmente, o SRF realiza o tratamento de amputados de membro superior através de técnicas convencionais de reabilitação, como a cinesioterapia, citada na subseção 3.2.1. Assim sendo, uma proposta de solução computacional que possibilite aos fisioterapeutas realizar a reabilitação física de pacientes amputados de membros superiores mais eficiente e proporcione maneiras de acompanhamento do progresso destes pacientes, complementa não só do ponto de vista da avaliação realizada pelos fisioterapeutas, mas também, a reintegração destes pacientes na sociedade.

Como método de desenvolvimento da solução, foi utilizado o GUP (descrito no capítulo 2) de maneira adaptada, optando-se por escolher as características que melhor se adequam ao jogo PhysioPong. Por fim, visto que esta pesquisa possui aplicação na área da saúde e inclui experimentos que envolvem humanos, o projeto conta com registro no Comitê de Ética e Pesquisa, sobre o CAAE (Certificado de Apresentação para Apreciação Ética) de número 60663016.5.0000.5323. Além disso, este projeto faz parte do Grupo de Informática Médica (GIM) da Universidade Federal do Pampa.

4.1.1 Tecnologias

A partir do estudo de tecnologias disponíveis e aplicáveis a solução do problema proposto, diversas se mostraram favoráveis. Desta forma, dado que a seção 3.6 relata as diferenças entre plataformas de prototipagem, para a construção do nó sensor optou-se pela utilização do Arduino, visto a facilidade de integração desta tecnologia com sensores e a disponibilidade da plataforma na universidade, além de uma gama grande de documentação disponível. Além disso, a placa de prototipagem Arduino Mega 2560 foi escolhida visando uma solução que necessite de maior quantidade de recursos. Assim sendo, devido uma maior capacidade/portas e poder computacional quando comparada ao Arduino Uno, o Arduino Mega 2560 se mostrou favorável. Nesse sentido, a escolha do sensor *MyoWare* foi realizada devido sua integração com a plataforma Arduino, além de ser uma solução de baixo custo e disponibilidade em mercado, comparado a outros sensores.

Por outro lado, foi elencado a necessidade de utilização de um motor de jogos para o desenvolvimento da solução. Para isso foram analisadas várias tecnologias que atendam os requisitos do projeto, dentre as quais se destacam a Unity 3D², Unreal Engine³ e Godot⁴. Foram elencadas como variáveis de interesse a licença do software, a linguagem de programação utilizada, a documentação disponível e a comunidade da ferramenta, sendo que para as duas últimas variáveis foi atribuído um sistema de pontuação afim de realizar uma análise quantitativa, como apresenta a Tabela 4;

²Disponível em: <<https://unity3d.com/pt>>. Acesso em: 20 setembro 2018.

³Disponível em: <www.unrealengine.com>. Acesso em: 20 setembro 2018.

⁴Disponível em: <<https://godotengine.org>>. Acesso em: 20 setembro 2018.

Tabela 4 – Comparação entre *game engines*

| Ferramenta | Licença | Linguagem de programação | Documentação | Comunidade |
|------------|--------------------|--------------------------|--------------|------------|
| Unreal | Proprietário | C++ e C# | 9 | 8 |
| Unity 3D | Versão gratuita | C# e <i>JavaScript</i> | 10 | 10 |
| Godot | <i>Open Source</i> | C# | 8 | 8 |

Fonte: Autor (2019).

A partir de uma análise das funcionalidades e características destas ferramentas, foi possível definir a solução que atenda as necessidades exigidas para a implementação do *PhysioPong*. Deste modo, optou-se pela utilização do motor de jogos Unity, por ser uma ferramenta mais completa entre as pesquisadas. A Unity destaca-se em diversos aspectos, como a licença de *software*, uma comunidade de desenvolvedores ativa, a facilidade de uso, além de ter uma boa documentação acerca de suas funcionalidades. Outro ponto é a portabilidade do código que, pode ser compilado para diferentes arquiteturas de sistemas operacionais, como Windows, Linux e até sistemas móveis como Android, propiciando a execução do jogo em diferentes plataformas, caso seja necessário. Segundo Xavier (2011), a Unity está em grande crescimento do seu uso por desenvolvedores e, atualmente vem sendo considerada uma referência para o desenvolvimento de jogos educacionais. A versão da Unity utilizada no desenvolvimento deste projeto é a 5.6.7.

Dentre as linguagens de programação suportadas pela *game engine* Unity, está o *JavaScript* e o C#. Tendo em vista a maior quantidade de documentação sobre a linguagem de programação C# para o desenvolvimento de jogos digitais, a mesma foi selecionada no desenvolvimento da solução. Através desta linguagem é possível implementar códigos capazes de comandar objetos que compõem o jogo, como partículas e interface gráfica, além de alterar seus atributos como posição, rotação, som, imagem e textura. Combinada as ferramentas de edição da plataforma Unity, optou-se pela utilização de imagens de *layout* disponíveis em repositórios online, que por sua vez enriquece o *design* do jogo. Como exemplo, alguns destes modelos foram adquiridos através do site Envato Market⁵.

Avaliando a necessidade de armazenar as informações do jogo, o *PhysioPong* conta com uma base de dados. O MySQL foi escolhido por sua facilidade de uso, confiabilidade e desempenho, além de ser uma ferramenta *open source* e possuir um *software*

⁵Disponível em: <<https://graphicriver.net>>. Acesso em: 10 março 2019.

visual para *design*, desenvolvimento e administração de base de dados MySQL. Para a comunicação do jogo com a base de dados foi utilizado o *framework* NET 2.0, sendo esse um quesito necessário para o correto funcionamento da comunicação.

Também, para o versionamento dos códigos foi utilizado o Bitbucket⁶, uma ferramenta para gerenciamento de código Git. Optou-se por sua utilização pelo fato de ser uma solução gratuita que tem a possibilidade de criar repositórios privados em relação a outras ferramentas do gênero, como o Github⁷.

4.2 Análise e modelagem do sistema

Inicialmente foi realizado o levantamento de requisitos da ferramenta através de reuniões com os profissionais do SRF. Desta forma, foram obtidos os requisitos funcionais e não funcionais (Apêndice A) para implementação do *game* PhysioPong. Os requisitos são divididos em essenciais, importantes e desejáveis, na qual um requisito essencial é aquele que é obrigatório, sem ele o sistema não entra em funcionamento. Um requisito importante é aquele que na sua ausência o sistema entra em funcionamento, mas de forma não satisfatória. Já um requisito desejável é aquele que se implementado no sistema será de grande valor, porém, sua implementação não é imperativa para o sistema. A Tabela 5 apresenta um resumo de requisitos funcionais do sistema.

É possível observar algumas funcionalidades essenciais para a implementação do PhysioPong, como: coletar dados, enviar dados, manipular dados, iniciar jogo, mover uma raquete, níveis de dificuldade, gravar dados pós sessão, bem como, cadastrar um novo paciente e realizar uma busca. Os requisitos elencados como importantes são o sistema de pontuação, sessão de treinamento e apresentar dados durante o jogo. Por outro lado, gerar relatórios e retorno auditivo, são requisitos desejáveis para a construção da solução.

A Tabela 6 apresenta um resumo de requisitos não funcionais do *software*, no qual aponta que, o sistema deve prover de maneira essencial a usabilidade buscando uma interface amigável, atrativa, simples e de fácil uso. O sistema deve ser confiável mantendo sempre a integridade na coleta, apresentação e armazenamento dos dados, bem como, apresentar um desempenho desejável que não acarrete travamentos no sistema, além de promover a flexibilidade. Cabe salientar que, o apêndice A apresenta o documento de

⁶Disponível em: <<https://br.atlassian.com/software/bitbucket>>. Acesso em: 02 outubro 2018.

⁷Disponível em: <<https://github.com/>>. Acesso em: 02 outubro 2018.

Tabela 5 – Resumo de requisitos funcionais do sistema

| Requisito funcional | Essencial | Importante | Desejável |
|---------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Coletar dados | X | | |
| Enviar dados | X | | |
| Manipular dados | X | | |
| Iniciar jogo | X | | |
| Mover uma raquete | X | | |
| Sistema de pontuação | | X | |
| Níveis de dificuldade | X | | |
| Sessão de treinamento | | X | |
| Apresentar dados durante o jogo | | X | |
| Gravar dados pós sessão | X | | |
| Gerar relatórios | | | X |
| Retorno auditivo | | | X |
| Cadastrar paciente | X | | |
| Buscar cadastro | X | | |

Fonte: Autor (2019).

requisitos com mais detalhes da solução PhysioPong.

Tabela 6 – Resumos de requisitos não funcionais do sistema

| Requisito não funcional | Essencial | Importante | Desejável |
|--------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Usabilidade | X | | |
| Confiabilidade | X | | |
| Desempenho | X | | |
| Flexibilidade | | | X |

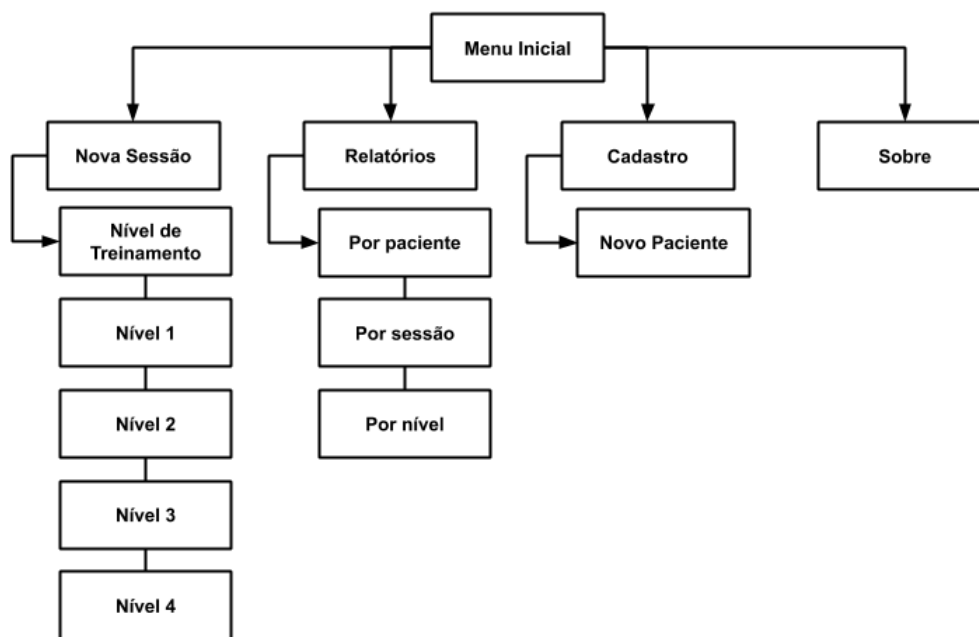
Fonte: Autor (2019).

Como forma de apresentar as funcionalidades da aplicação na sua totalidade, a Figura 22 apresenta um diagrama adaptado que exhibe as possibilidades de utilização do PhysioPong pelo fisioterapeuta. Através do *Menu Principal* o sistema possibilita iniciar uma nova sessão nos diversos níveis de dificuldade propostos, realizar o cadastro de pacientes, gerar relatórios por paciente, por sessão realizada e nível jogado, além de carregar informações do projeto.

A partir da definição dos requisitos, foi realizada uma análise destes para delinear o *design* proposto no jogo. Desta forma, recorreu-se a linguagem de modelagem unificada⁸ (UML, do inglês *Unified Modeling Language*) para modelagem do sistema proposto. A fim de descrever as principais funcionalidades do sistema foram elaborados diagramas de casos de uso, sendo estes compostos basicamente por um ator, os casos de uso e a

⁸Disponível em: <<http://www.uml.org/>>. Acesso em: 20 outubro 2018.

Figura 22 – Diagrama adaptado de funcionalidades do sistema



Fonte: Autor (2019).

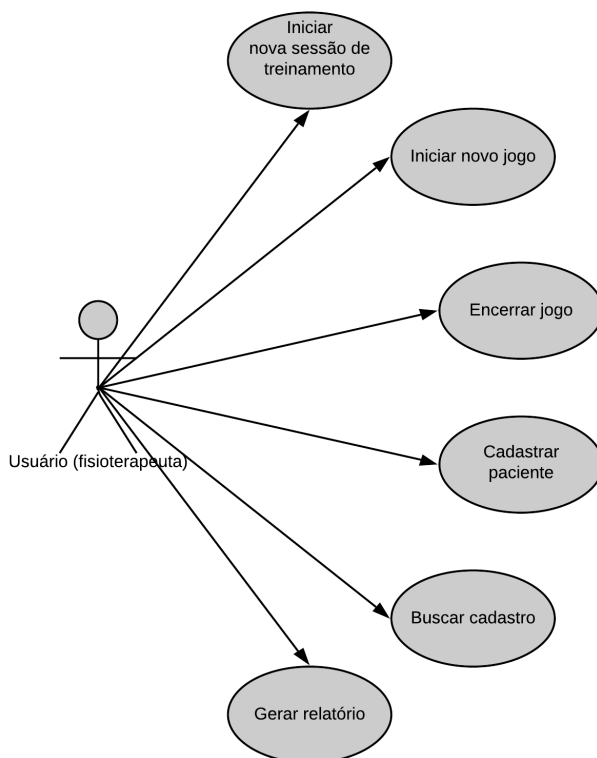
comunicação entre eles. Nesse sentido, a Figura ?? apresenta um diagrama possível de casos de uso onde o ator é o usuário da solução, ou seja, o fisioterapeuta. Assim, pode-se observar que o usuário tem a possibilidade de iniciar uma nova sessão de treinamento, iniciar o jogo propriamente dito, encerrar o jogo, cadastrar um paciente e buscar um cadastro já existente, como também, gerar relatórios referente a sessões já realizadas.

Desse modo, definição dos requisitos e a modelagem do sistema, foram utilizadas como diretrizes fundamentais no desenvolvimento da solução. Portanto, nas próximas seções serão apresentados os elementos que constituem a implementação da solução proposta, iniciando pela descrição do projeto do nó sensor, seguido pela apresentação do banco de dados.

4.2.1 Nó sensor

Para o desenvolvimento do nó sensor foi elaborado um diagrama de casos de uso, onde o ator é o nó sensor. As ações que o nó sensor pode realizar são: coleta de dados, no qual inicia quando a sessão for inicializada, o tratamento dos dados, bem como, o envio dos dados. Os dados que devem ser manipulados pelo nó sensor, são basicamente os valores da força muscular exercida pelo paciente. O diagrama de casos de uso do nó

Figura 23 – Digrama de casos de uso do usuário



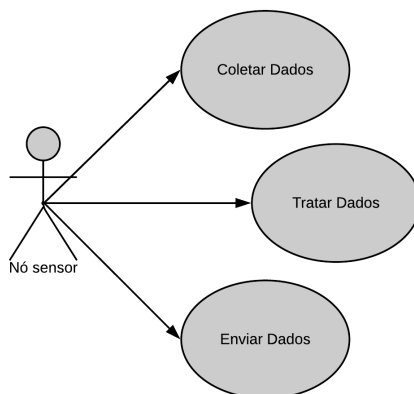
Fonte: Autor (2019).

sensor pode ser observado na Figura 24.

Nesse sentido, para a construção da solução foram utilizados um Arduino Mega 2560 e dois EMG *MyoWare Muscle Sensor*. As considerações sobre a escolha destas tecnologias estão descritas na seção 4.1.1. Conforme apresentado na seção 3.6.1, o microcontrolador utilizado no Arduino Mega 2560 é o ATmega2560. Assim sendo, a Figura 25 apresenta o esquema de pinagem e demais componentes da plataforma Arduino Mega 2560.

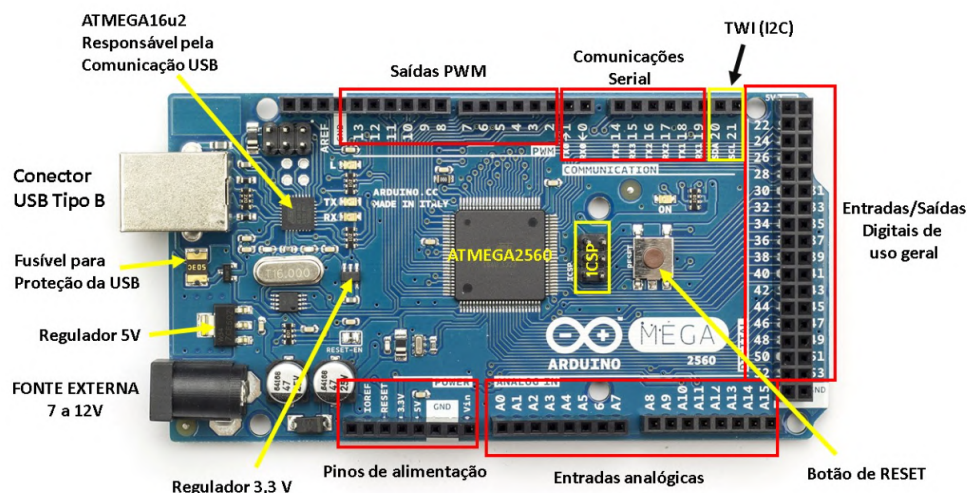
Em relação ao sensor de força muscular *MyoWare Muscle Sensor* de Myoware (2015), foi desenvolvido para ser utilizado em conjunto com um microcontrolador. Possui como funcionalidade capturar o sinal mioelétrico proveniente de um músculo, que por sua vez, possui opção de saída do sinal já amplificado, retificado e integrado pelo próprio sensor. Este processo ocorre a partir da leitura do sinal através de três eletrodos de superfície auto-adesivos, posicionados no meio do músculo, no final e um eletrodo de referência que deve ser estar localizado em uma seção diferente do músculo a ser capturado o sinal, como a porção óssea do cotovelo. O sensor atua estabelecendo uma variação de amplitude de sinal que vai de 0 a 1023, além da possibilidade de ser utilizada uma

Figura 24 – Diagrama de casos de uso do nó sensor



Fonte: Autor (2019).

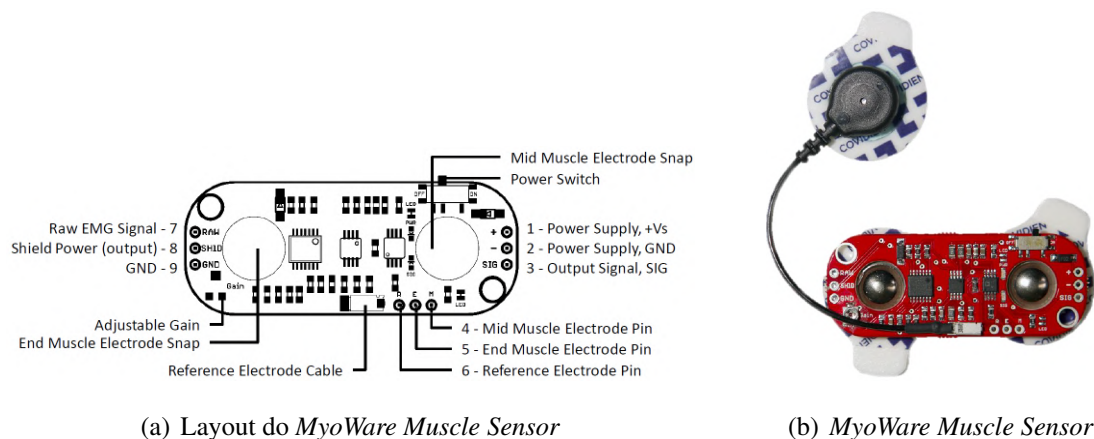
Figura 25 – Pinagem da plataforma Arduino Mega 2560



Fonte: Embarcados (2016).⁹

normalização do sinal em Volts.

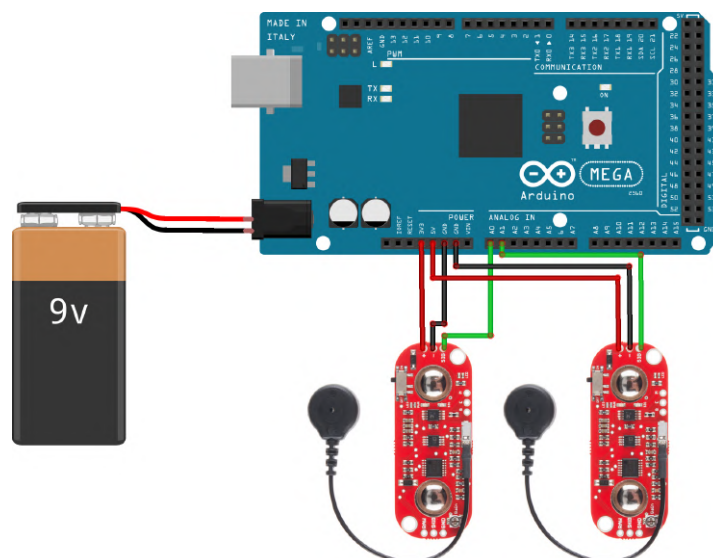
Na Figura 26 pode ser observado o *layout* do sensor *MyoWare*. No qual, basicamente possui tensão de alimentação de +2.9 V á +5.7 V (1), dois modos de saída do sinal mioelétrico (EMG sem tratamento (7) e EMG com tratamento (3)) e permite a expansão via *shields* pelo pino 8. Além disso, possibilita realizar o ajuste da voltagem para o sensor através de um potenciômetro (*Adjustable Gain*), bem como, acrescenta a possibilidade de conexão de eletrodos externos com cabos por meio dos pinos 4, 5 e 6. Cabe salientar que, o sensor possui um interruptor para ligar/desligar a alimentação do mesmo. A Figura 26 apresenta o sensor *MyoWare* utilizado no projeto.

Figura 26 – *MyoWare Muscle Sensor*

Fonte: Myoware (2015).

Desta maneira, a partir da escolha dos componentes foi elaborada uma lógica de funcionamento do nó sensor, sendo possível visualizar o esquema de ligação na Figura 27, conforme recomendado no *datasheet* do *MyoWare*. Assim sendo, os *jumpers* em verde representam a conexão analógica entre os sensores e Arduino, responsável pelo envio do sinal mioelétrico captado. Já os *jumpers* em preto simbolizam a ligação entre o *ground* (GND) dos componentes e, em vermelho, a ligação da fonte de energia para a energização do sensor. A utilização da bateria de 9V é devido à necessidade de isolamento da rede elétrica.

Figura 27 – Esquema de ligação nó sensor

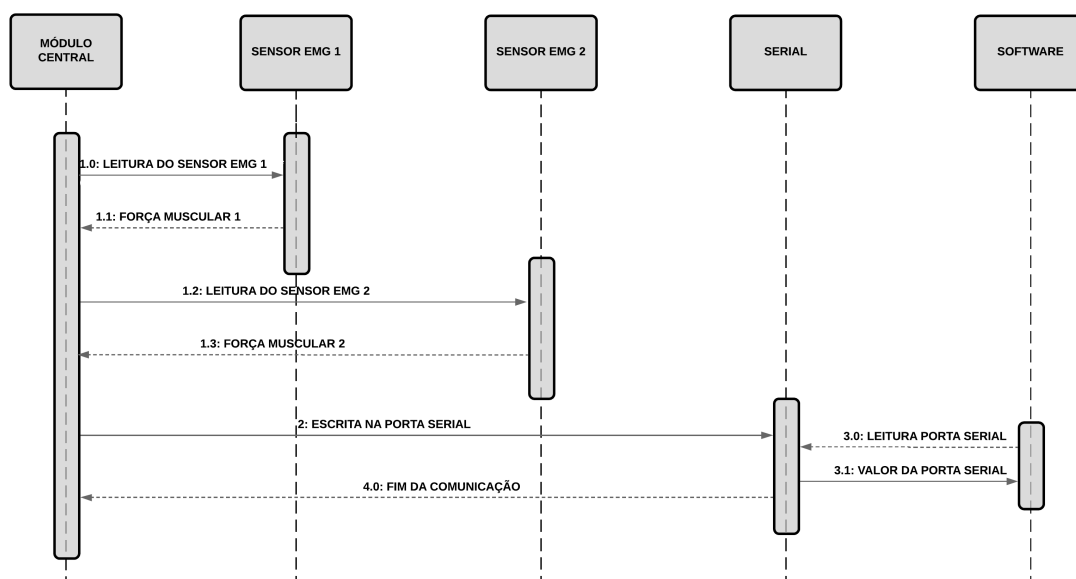


Fonte: Autor (2019).

Assim sendo, a coleta dos dados é realizada a partir dos sensores *MyoWare*, no qual enviam o valor do sinal mioelétrico capturado ao microcontrolador Arduino, a cada 100ms. Este tempo foi determinado com realização de teste

Essas ações são realizadas através de um código central escrito em linguagem de programação C pelo ambiente de desenvolvimento integrado (IDE, do inglês *Integrated Development Environment*) da plataforma Arduino, representado pelo módulo central. A partir da leitura dos sensores e os dados aferidos, é realizada a concatenação dos dados enviados pelos sensores e posteriormente a escrita na porta serial da máquina conectada ao Arduino, possibilitando a leitura pelo *software*. Nesse sentido, foi elaborado um diagrama de sequência, Figura 28, onde é possível observar este fluxo das ações durante o processo de coleta de dados.

Figura 28 – Diagrama de sequência representando a coleta de dados



Fonte: Autor (2019).

Portanto, receber as informações enviadas pelo nó sensor, manipula-las e armazenar para consultas futuras, fica a cargo do *software*. Assim sendo, a próxima subseção irá apresentar os conceitos envolvidos na elaboração do banco de dados e posteriormente o desenvolvimento da solução para problema proposto.

4.2.2 Banco de dados

Avaliando a necessidade de armazenar os dados das sessões de exercício e gerar relatórios, o PhysioPong conta com uma base de dados MySQL¹⁰ modelado com a finalidade de comportar e organizar os dados de cada paciente e suas respectivas sessões, sendo que os critérios de escolha desta tecnologia são apresentados na subseção 4.1.1. A comunicação entre o jogo e o banco de dados ocorre por meio do *framework* NET 2.0, necessário para o correto funcionamento. Desta forma, foi aberta uma conexão através da linguagem C# no Unity passando os devidos parâmetros, possibilitando a execução de comandos na linguagem SQL. A Figura 29 apresenta, em alto nível, a comunicação entre o jogo e o banco de dados.

Figura 29 – Arquitetura de comunicação entre o jogo e o banco de dados



Fonte: Autor (2019).

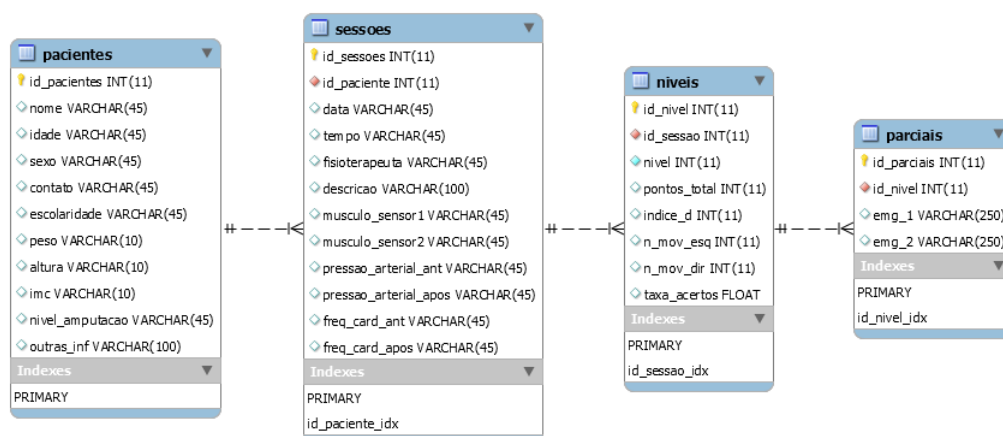
A ferramenta MySQL Workbench versão 8.0 CE foi utilizada para modelagem da base de dados, permitindo a criação do Modelo de Entidade-Relacionamento (MER) que descreve os objetos (entidades), características (atributos) e como se relacionam entre si (relacionamentos) para a solução proposta. Foram criadas quatro tabelas de dados, sendo elas: (i) pacientes; (ii) sessões; (iii) níveis; (iv) parciais. O MER elaborado pode ser visualizado na Figura 30.

A tabela de pacientes armazena informações pessoais dos indivíduos cadastrados no primeiro acesso ao jogo. Toda sessão realizada é salva no banco de dados com tempo, taxa de acertos, fisioterapeuta, descrição, dados informados no início da sessão, bem como data e hora, possibilitando identificá-la posteriormente. Cabe salientar que, estes dados foram elencados como requisitos funcionais presentes no documento de requisitos. Paralelamente, as informações relacionadas ao jogo são armazenadas na tabela níveis, bem como, a cada 5 segundos são armazenados dados parciais do sinal EMG referente a ses-

¹⁰Disponível em: <<https://www.mysql.com/>>. Acesso em: 10 fevereiro 2019.

são, ou seja, durante 5 segundos os dados são concatenados em uma única *string* para posteriormente serem armazenados na base de dados. Este tempo foi estipulado para que não haja sobrecarga no sistema ao armazenar dados demasiado rápido, visto que a cada 100ms o sensor envia as novas coletas de EMG, para que possa ser processado no jogo. Os dados de EMG são armazenados pela possibilidade de posteriormente serem criados gráficos para análise dos fisioterapeutas.

Figura 30 – Diagrama Entidade-Relacionamento do jogo PhysioPong



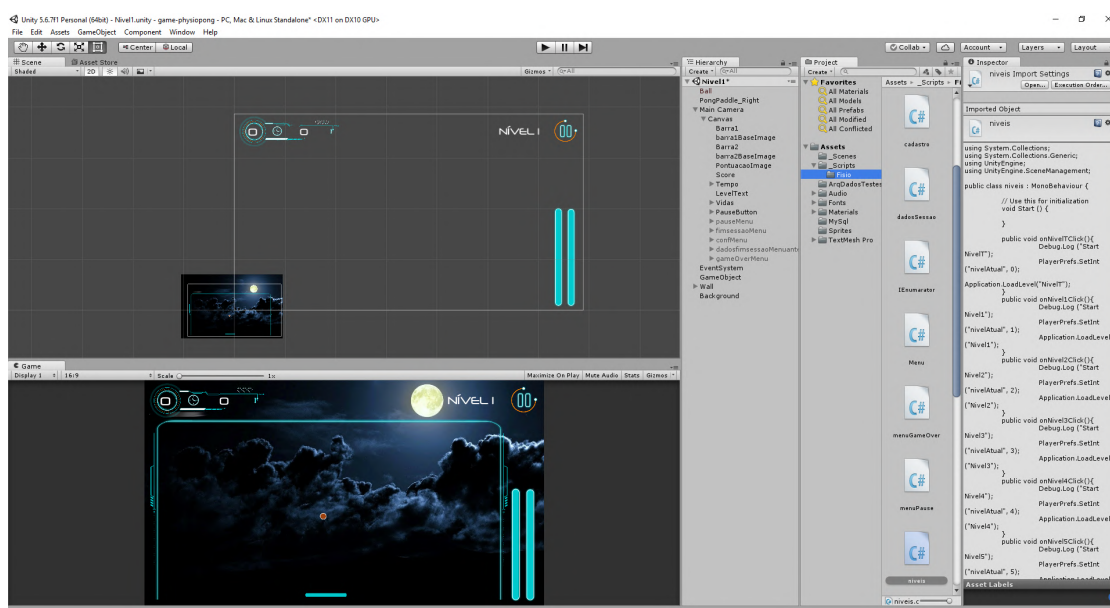
Fonte: Autor (2019).

A relação entre as tabelas pacientes e sessão é de 1 para N, ou seja, um paciente pode possuir N sessões de exercícios, analogamente uma sessão de exercício pode conter N níveis e cada nível N parciais. Todos os relacionamentos entre as tabelas são de 1 para N.

4.3 Desenvolvimento

Para a implementação do PhysioPong foi utilizada a *game engine* Unity, sendo que os quesitos para seleção desta ferramenta estão descritos na subseção 4.1.1. A Unity pode ser vista como um conjunto de ferramentas que possui um motor gráfico, editor de cenário, compilador, IDE de programação e outras funcionalidades. Além disso, sua interface é intuitiva baseada em sistema de janelas cruzadas. A Figura 31 apresenta o ambiente de desenvolvimento da *game engine* Unity na versão 5.6.7.

Figura 31 – Ambiente de desenvolvimento da *game engine* Unity



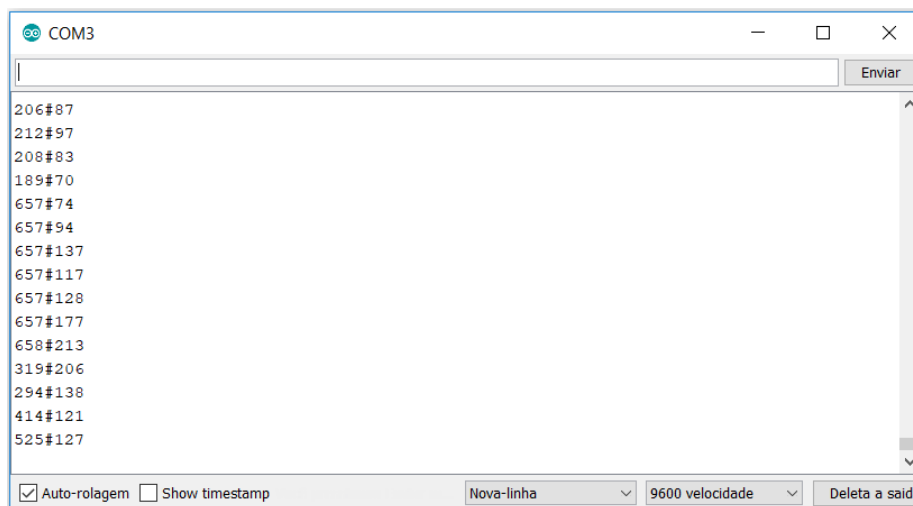
Fonte: Autor (2019).

Desta forma, com o propósito de implementar a mecânica de interação do paciente com o jogo, foram definidas basicamente três etapas, são elas:

1. **Aquisição:** responsável pela obtenção dos sinais mioelétricos dos sensores EMG (*MyoWare*). A aquisição do sinal mioelétrico é realizado através de dois sensores, no qual, cada sensor fica responsável para movimentar a paleta para um dos lados do jogo PhysioPong. A decisão de utilização de dois sensores para as ações do jogo, foi devido às próteses mioelétricas em sua maioria operar através da mesma maneira, possibilitando um tratamento mais adequado e próximo ao real para pacientes que buscam a protetização. Sendo que, a posição do sensor no coto do paciente é determinada com a ajuda de fisioterapeutas. O sinal analógico obtido pelos sensores é reconhecido pelo microcontrolador Ar-

duino, mais especificamente através do conversor AD (Analógico Digital) da placa, gerando uma representação digital da grandeza analógica recebida. Assim, conectado a um computador envia os dados em forma de *string* sequencialmente a cada 100ms, através de uma porta serial. A *string* é formada pelos valores do sinal mioelétrico de cada sensor concatenado com o caractere "#" (*sensor1#sensor2*), conforme apresenta o monitor serial do Arduino na Figura 32. Essa abordagem possibilita a identificação do sinal pelo jogo na plataforma Unity, apresentado no diagrama de sequência na Figura 28.

Figura 32 – Representação da *string* com os valores de EMG no monitor serial do Arduino



Fonte: Autor (2019).

2. **Processamento:** responsável pelo processamento das informações obtidas na etapa de aquisição. Assim, os dados que são recebidos através de uma única *string*, são separados individualmente para que sejam utilizados durante o processamento do jogo. Esta ação é realizada no próprio jogo através de um algoritmo. Posteriormente é determinado um limiar que será realizado o movimento (para cada sensor), sendo que, de acordo com a amplitude do sinal obtido pela contração dos músculos é executado uma ação no jogo. Este limiar de amplitude é definido nos ajustes iniciais das sessões de exercícios, mediante o monitor serial do Arduino enquanto o paciente realiza contrações musculares, ou seja, é visualizado a variação dos valores do sinal mioelétrico resultante e, com base na média do pico máximo de cada sensor é definido o valor que será o limiar de amplitude para realização dos movimentos. O algoritmo no qual controla a movimentação da barra no jogo é apresentado na Fi-

gura 33. As variáveis *sensor1* e *sensor2* representam o valor do sinal mioelétrico de cada sensor, já o *LimSensor1* e *LimSensor2* referem-se ao limiar definido. A velocidade de movimentação da paleta é calcula através de um valor padrão (*speed*) multiplicada por *Time.deltaTime*¹¹ e atribuída à *vel.x*, sendo *x* o eixo de movimentação. As variáveis *n_mov_dir* e *n_mov_esq* correspondem a quantidade de movimentos realizados pelo jogador para direita e esquerda, respectivamente.

Desta forma, se o paciente através de uma contração muscular atingir o limiar definido em algum dos sensores, a paleta é movimentada a uma velocidade *x* para esquerda ou direita, no eixo horizontal. Caso seja realizado uma força muscular que atinja o limiar nos dois sensores ao mesmo tempo, a paleta será movida para a direção que corresponda a maior força exercida.

Figura 33 – Algoritmo de tratamento do sinal de acordo com limiar de amplitude

```
// Tratamento do sinal do sensor de acordo com limiar de amplitude;
if ((sensor1 > LimSensor1) && (sensor2 > LimSensor2)) {
    if (sensor1 > sensor2) {
        vel.x = -speed * Time.deltaTime;
        n_mov_esq += 1;
    } else {
        vel.x = speed * Time.deltaTime;
        n_mov_dir += 1;
    }
} else if (sensor1 > LimSensor1 && sensor2 < LimSensor2) {
    vel.x = -speed * Time.deltaTime;
    n_mov_esq += 1;
} else if (sensor2 > LimSensor2 && sensor1 < LimSensor1) {
    vel.x = speed * Time.deltaTime;
    n_mov_dir += 1;
} else {
    vel.x = 0;
}
paddle.velocity = vel;
```

Fonte: Autor (2019).

3. Resposta: esta etapa descreve a movimentação da paleta na interface do jogo de acordo com a etapa de processamento. No qual, as ações a serem executadas podem ser paleta para direita ou paleta para a esquerda, conforme a posição dos sensores no coto do paciente.

A fim de contemplar todas as funcionalidade contidas no documento de requisitos,

¹¹Time.deltaTime: é o intervalo de tempo entre os *frames* do jogo. Na *game engine* Unity pode ser visto como o intervalo entre um *Update* e outro. Esta variável utilizada na movimentação de objetos garante que o mesmo vai ter velocidade contante, independente se for compilada em máquinas que possuem FPS (*frames* por segundo) diferentes, ou seja, se remover o *.deltaTime* do cálculo o objeto se movimentará a diferentes distâncias a cada segundo em máquinas distintas.

a Figura 34 apresenta o *Menu principal* que contém todas as principais opções do jogo. O *Menu principal* possibilita iniciar uma nova sessão, realizar o cadastro de pacientes, visualizar relatórios, carregar informações do projeto, além de sair do jogo. Tal menu foi implementado através de componentes de *User Interface* (UI) contidos na própria ferramenta do Unity. Para agrupar os elementos de um menu foi utilizado o componente *Canvas*, que atua como um container para componentes da UI. Deste modo, foram aplicados botões que ativam outros menus que, quando ativados podem ser visualizados no centro da tela.

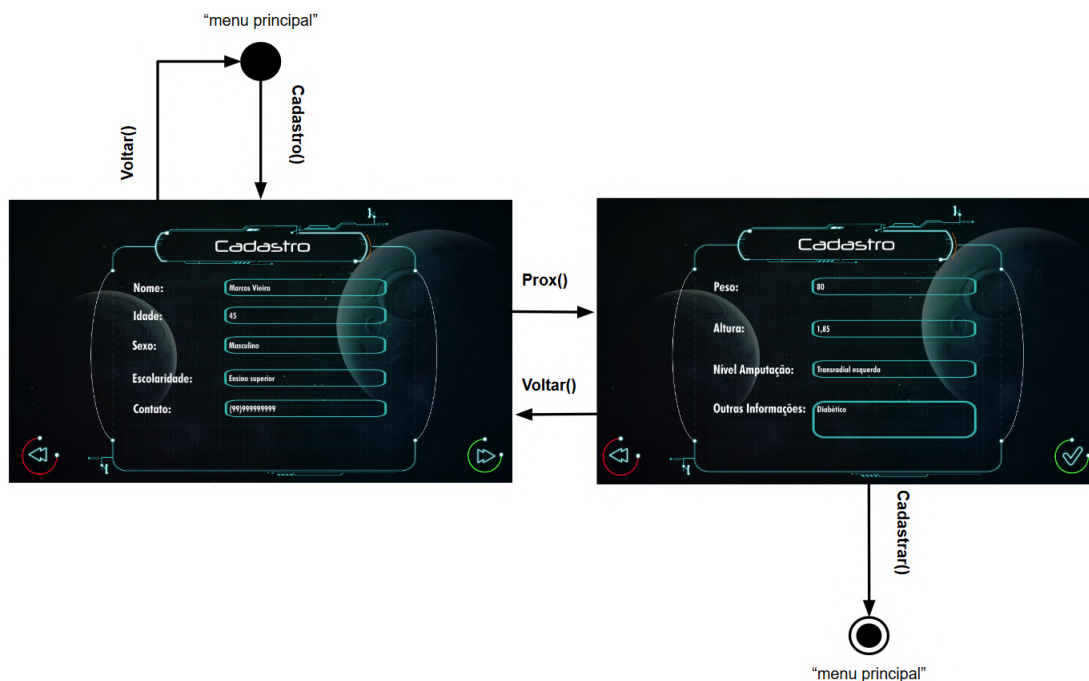
Figura 34 – Menu principal do jogo PhysioPong



Fonte: Autor (2019).

Na opção de cadastro de paciente é possível adicionar informações referentes ao nome, idade, sexo, nível de amputação, escolaridade, contato, peso, altura e um campo com outras informações descritivas caso o fisioterapeuta julgue necessários adicioná-las. Estes dados foram elencados como requisitos funcionais, presentes no documento de requisitos. Para isso foram agregados elementos que possibilitam a inserção de dados pelos fisioterapeutas, conhecidos como *Input Field*. A Figura 35 demonstra o diagrama de sequência adaptado com os menus responsáveis pelo cadastro de pacientes.

Figura 35 – Diagrama de sequência adaptado de menus para cadastro de pacientes.



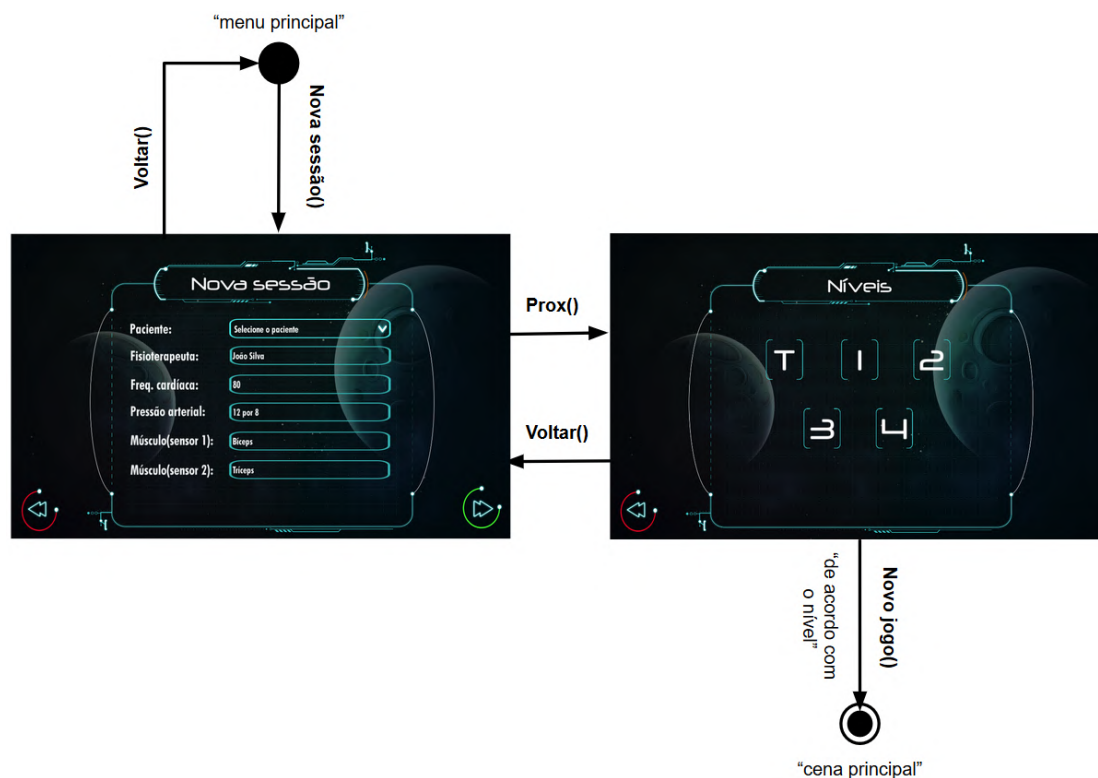
Fonte: Autor (2019).

No que diz respeito a uma nova sessão de exercícios (Figura 36), primeiramente é necessário que fisioterapeuta realize a identificação do paciente. Tal artifício é possível através de um *Dropdown List* que propicia a seleção de pacientes previamente cadastrados. Também é preciso que o fisioterapeuta identifique-se, além de inserir os dados pré sessão de exercícios, coletando informações de pressão arterial e frequência cardíaca de forma manual através de equipamentos adequados. Estes dados são coletados a fim de identificar anomalias no paciente que possam acarretar distúrbios ao realizar exercícios, sendo possível também realizar este procedimento ao término da sessão. Após a inserção destes dados é possível visualizar o menu de níveis do jogo. O PhysioPong contém quatro níveis de dificuldade implementados e um nível de treinamento, podendo ser escolhidos pelo fisioterapeuta de acordo com a evolução do paciente no tratamento.

O paciente tem como seu principal objetivo rebater a bolinha com a raquete, porém, de acordo com testes que foram realizados percebeu-se a necessidade de implementar um nível de treinamento para que o paciente primeiramente se adapte a movimentação da paleta. Desta maneira, esta fase tem como objetivo proporcionar aos pacientes a adaptação aos movimentos do jogo, ou seja, o paciente apenas realiza movimentos para esquerda e direita sem preocupações em rebater a bolinha.

Os níveis de dificuldade do jogo são diferenciados pelas características de mo-

Figura 36 – Diagrama de sequência adaptado de menus para uma nova sessão



Fonte: Autor (2019).

vimentação da barra e da bolinha, de acordo com a Tabela 7. Para a movimentação da bolinha foram definidos níveis de velocidade (normal e difícil), sendo a velocidade da bolinha no nível difícil é 50% mais rápida em relação a velocidade normal. A movimentação da barra nos níveis iniciais é realizada de acordo com um limiar de amplitude do sinal EMG, conforme a etapa de processamento da mecânica de interação com o jogador, discutida no início deste capítulo. Já para níveis mais avançados, a movimentação da barra é executada conforme amplitude do sinal emitido, ou seja, quanto maior a amplitude da força muscular exercida pelo paciente, maior será a distância percorrida pela barra no jogo. Tal mecanismo permite que o paciente possa aprimorar a motricidade fina de seu músculo. Como exemplo disso, podemos referir-se a um paciente protetizado com uma prótese mioelétrica que pretende agarrar um copo de plástico. Tendo em vista que o copo é flexível e, ao pegar o copo seja aplicado uma força muscular muito grande, o mesmo irá amassar. Ainda se o paciente não aplicar uma força suficiente, o copo pode deslizar da prótese e cair. Deste forma, o treinamento da motricidade fina do paciente é essencial para praticar suas habilidades motoras e alcançar uma protetização de qualidade.

Tabela 7 – Tabela de diferença entre níveis do jogo

| Níveis | Objetivo | Movimentação da raquete | Nível de velocidade da bolinha ¹² |
|-------------|---|---|--|
| Treinamento | Adaptação aos movimentos do jogo | De acordo com um limiar de amplitude do sinal EMG | Normal |
| Nível 1 | Rebater a bolinha com a raquete podendo deixar a bolinha "cair" | De acordo com um limiar de amplitude do sinal EMG | Normal |
| Nível 2 | Rebater a bolinha com a raquete sem deixar a bolinha "cair" | De acordo com um limiar de amplitude do sinal EMG | Difícil |
| Nível 3 | Rebater a bolinha com a raquete sem deixar a bolinha "cair" | Conforme amplitude do sinal EMG emitida | Normal |
| Nível 4 | Rebater a bolinha com a raquete sem deixar a bolinha "cair" | Conforme amplitude do sinal EMG emitida | Difícil |

Fonte: Autor (2019).

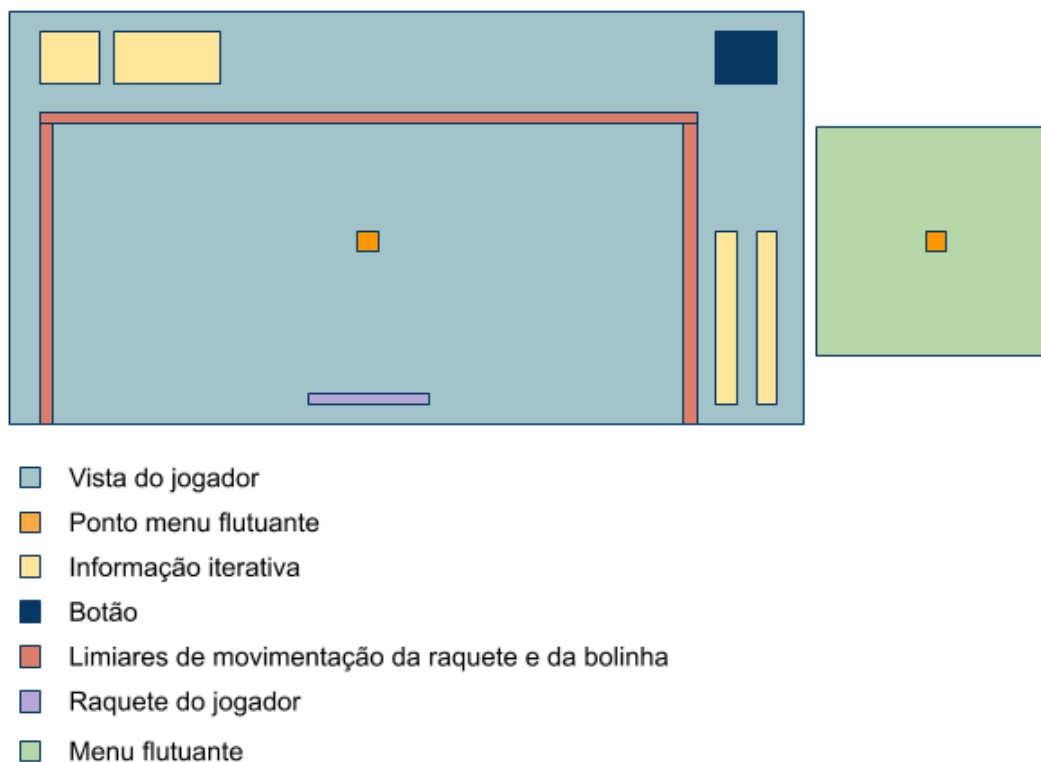
Com base no jogo Pong, foi desenvolvida a cena principal. Esta cena é de fato onde a partida acontece, sendo o local em que todos os *game objects* interagem. O *game object* é a base de todos os objetos em uma cena, sendo que todos os objetos de uma cena são *game objects*. Consistem em caixas vazias com a possibilidade de adicionar diversos componentes, agregando diferentes características necessárias na construção do jogo. Desta forma, a cena é tratada como um conjunto de objetos, na qual para alguns é permitido instanciar-lo zero, uma ou mais vezes. Uma vez que os objetos podem ser destruídos e instanciados em tempo de execução, indica a dinamicidade da cena. Como exemplo disso podemos referenciar a mecânica de rebater a bolinha, ou seja, quando o paciente não consegue rebater a bolinha com a raquete, o *game object* relacionado a bolinha é destruído e instanciado para uma nova tentativa.

Desta maneira foi desenvolvida a interface de usuário do jogo, fundamentado nos requisitos apresentados. Tal interface é importante, pois este é o meio pelo qual o paciente interage com o jogo, sendo que a qualidade deve ser levada em consideração no seu desenvolvimento. Assim, com o intuito de manter o foco da tela livre para que o paciente possa atentar-se ao jogo, os componentes da *Heads-Up Display* (HUD), ou seja, os elementos gráficos exibidos na tela a fim de transmitir informações ao jogador, foram dispostos nas extremidades. Deste modo optou-se por manter os componentes que contêm informações

interativas como a pontuação, o tempo de sessão e o botão de acesso ao menu de pause na parte superior da tela.

Para que os fisioterapeutas possam visualizar a amplitude do sinal mioelétrico emitido pela contração dos músculos do paciente durante o treinamento, foram dispostas duas barras verticais ao lado direito da cena do jogo. Essa abordagem permite a visualização da amplitude do sinal emitido pelos músculos do paciente detectado pelos sensores EMG. As barras representam a amplitude do sinal mioelétrico, e se ajustam de acordo com as contrações musculares do paciente ao jogar o PhysioPong. Sendo esse um dos requisitos elencados pelos fisioterapeutas para um melhor acompanhamento durante a sessão. Buscando uma abordagem interativa foi desenvolvido um sistema de menu flutuante, permitindo que os menus fiquem fora do campo de visão do jogador e quando ativados vão para o centro da tela. Cabe salientar que, em todos os níveis os objetos são dispostos da mesma maneira na HUD, diferenciando-se apenas nas características de movimentação da raquete e da bolinha, quanto na imagem de fundo. A Figura 37 apresenta um esquema do sistema de interface do jogador desenvolvido para o jogo PhysioPong.

Figura 37 – Esquemático do sistema de interface do jogador (HUD)

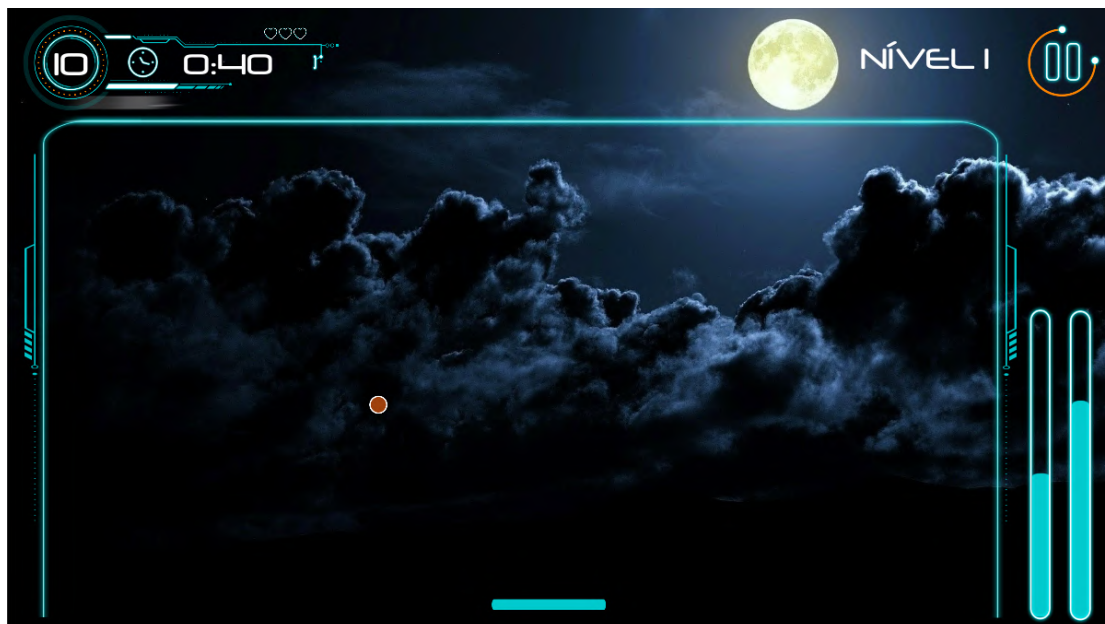


Fonte: Autor (2019).

A Figura 38 apresenta a cena principal do jogo (nível 1), possibilitando identificar os objetos descritos anteriormente. Pode ser observado na cena objetos retangulares, como bordas de uma caixa, representando os limites de movimentação da paleta e da bolinha. Esse procedimento é possível através de componentes do tipo *Collider* (primitiva básica de colisão) agregados nos objetos, que ao detectar uma colisão ativam um evento que impede a passagem do objeto e o rebate. Além disso, foram acrescentados efeitos sonoros ao detectar uma colisão, afim de aumentar o nível de imersão, ou seja, quando a bolinha é rebatida pela raquete ou pelas bordas, o jogo emite um somido.

Com o intuito de apresentar os objetos de maneira agradável e expressiva, a temática escolhida para o jogo foi futurística, de tal modo que possa despertar nos pacientes o entusiasmo ao tratamento. A fim de motivar os pacientes nas sessões de tratamento foi incluído um sistema de pontuação, onde a cada rebatida que o jogador realiza é acrescentado um ponto em sua pontuação final, a qual é exibida no canto superior esquerdo da cena principal. Também, ao lado da pontuação foi adicionado o tempo de progresso da sessão, possibilitando o acompanhamento da duração de cada sessão. Este tempo é determinado pelos fisioterapeutas visando a integridade do paciente, pois, o tempo de exposição muito grande a realização de exercícios pode ocasionar fadiga muscular e até lesões.

Figura 38 – Cena principal do PhysioPong



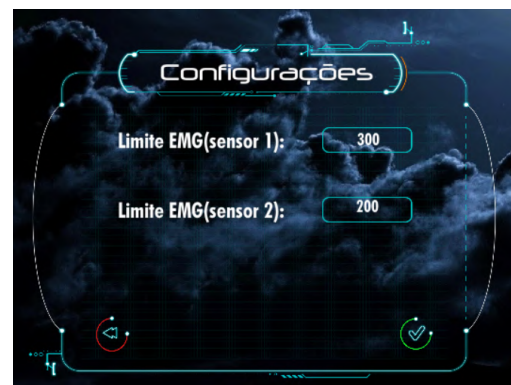
Fonte: Autor (2019).

Além disso, durante uma sessão de exercícios há a possibilidade de pausar a execução do jogo com o botão de acesso ao menu de pausa, no canto superior direito da tela. Este menu contém as opções de retornar ao jogo, ajustar configurações e encerrar a sessão, conforme apresenta a Figura 40(a). As configurações presentes neste menu possibilitam o ajuste do limiar de movimentação da paleta de cada sensor, sendo que, esta possibilidade foi adicionada visto a necessidade de alterações destes valores durante uma sessão. O menu de configurações pode ser visualizadas na Figura 40(b).

Figura 39 – Menus de pausa



(a) Menu de pausa



(b) Menu de configurações

Fonte: Autor (2019).

Ao encerrar uma sessão de exercícios através do menu de pausa, é possível visualizar o menu de fim de sessão (Figura 41(a)). Este menu contém as principais informações referentes ao último nível jogado, como a pontuação total, o índice de desempenho e o tempo. Além disso, possibilita a execução do próximo nível de dificuldade ou a finalização da sessão. Ao finalizar, o fisioterapeuta tem a opção de inserir dados pós sessão da pressão cardíaca, pressão arterial e ainda realizar uma descrição. O menu de inserção dos dados pós sessão pode ser visualizado na Figura 41(b).

Figura 40 – Menus de fim de sessão



(a) Menu de fim de sessão

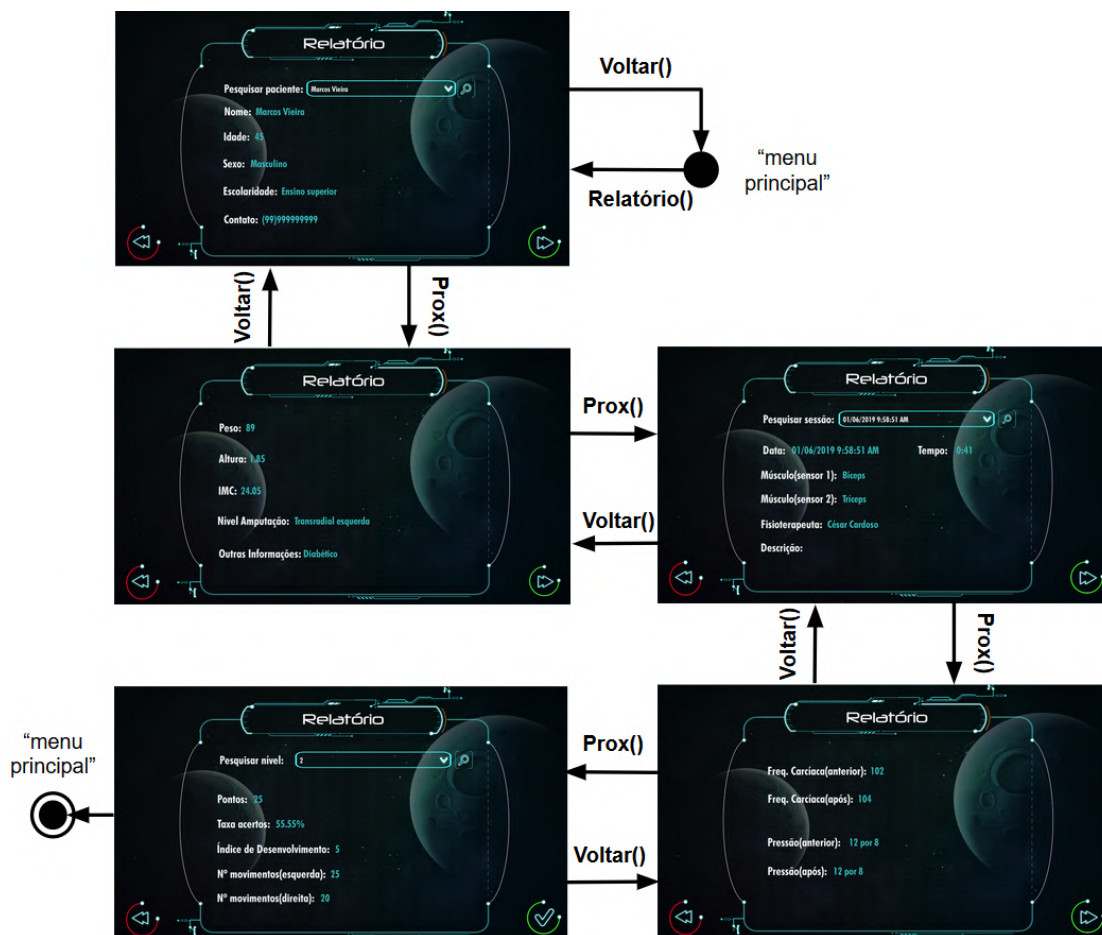
(b) Menu de dados pós sessão

Fonte: Autor (2019).

Fundamentado nos requisitos anteriormente levantados, os relatórios exibem as informações pessoais do paciente selecionado, além de dados específicos de cada sessão realizada. Alguns dos dados apresentados relacionados a sessão de exercícios, são: data, hora, tempo e dados pré e pós sessão informados. Estes dados podem ser visualizados selecionando uma sessão através de um *dropdown* inserido, que funciona como uma lista de opções de acordo com data e hora das sessões previamente realizadas pelo paciente. Também, é possível visualizar especificamente os dados de cada nível jogado na sessão, como os pontos obtidos, a taxa de acertos e o índice de desenvolvimento (ID). A taxa de acertos é calculada através da porcentagem do total de pontos em relação ao número de vezes que o paciente não conseguiu rebater a bolinha.

O ID foi desenvolvido para o projeto PhysioPong juntamente com profissionais de fisioterapia a fim de mensurar a evolução do paciente ao longo do tratamento. O ID corresponde ao número de pontos consecutivos obtidos sem deixar a bolinha "cair". Desta forma, quanto maior o índice presume-se que o paciente tenha um domínio maior sobre a ferramenta. Os relatórios fornecem informações relevantes referentes as sessões, permitindo que os fisioterapeutas analisem posteriormente o desenvolvimento do paciente ao longo do tratamento, de maneira que possam obter um diagnóstico mais coerente em relação a reabilitação de amputados de membros superiores. Além disso, o armazenamento destas informações permite um melhor embasamento ao apresentar os resultados ao paciente. A Figura 41 demonstra o diagrama de sequência adaptado dos menus de relatórios. Cabe salientar que, o GDD contém todas as cenas e menus disponíveis no PhysioPong.

Figura 41 – Diagrama de sequência adaptado dos menus de relatórios



Fonte: Autor (2019).

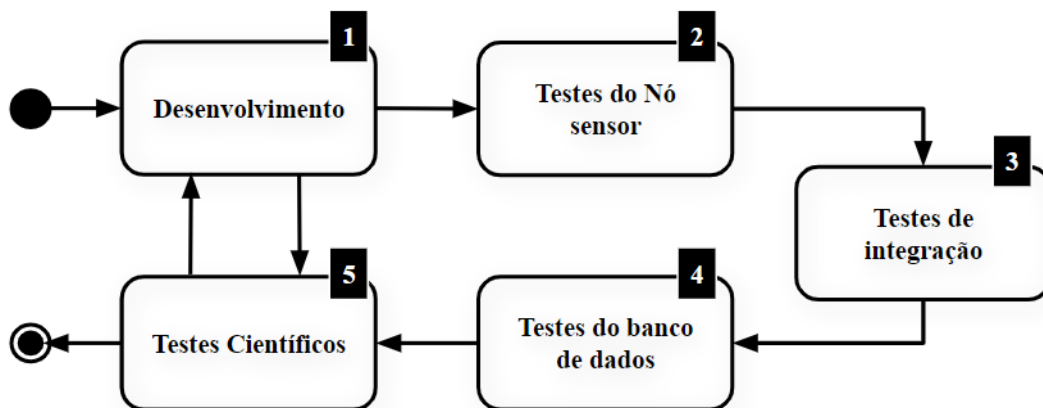
Portanto, o desenvolvimento deste projeto permitiu realização de alguns testes. A próxima seção irá abordar as informações sobre a concepção dos experimentos realizados.

4.4 Testes

Esta seção apresenta os conceitos envolvidos na elaboração e execução de testes da ferramenta PhysioPong. Os testes foram realizados durante o desenvolvimento do jogo, sendo que, primeiramente para a validação do nó sensor desenvolvido foram elaborados testes que abordam o funcionamento específico do *hardware* envolvido no sistema, como os sensores *MyoWare* e a comunicação com o Arduino. Em seguida foram executados experimentos com o intuito de avaliar a integração entre o nó sensor e a Unity, bem como testes aferindo o correto funcionamento do jogo e o adequado armazenamento de

informações no banco de dados desenvolvido. Por fim, com o propósito de validar a solução desenvolvida do ponto de vista técnico e de quanto o jogo satisfaz o problema de pesquisa levantado, testes científicos com voluntários experientes em jogos e indivíduos amputados de membro superior, foram realizados. A Figura 42 demonstra o diagrama de sequência dos testes.

Figura 42 – Diagrama de sequência dos testes



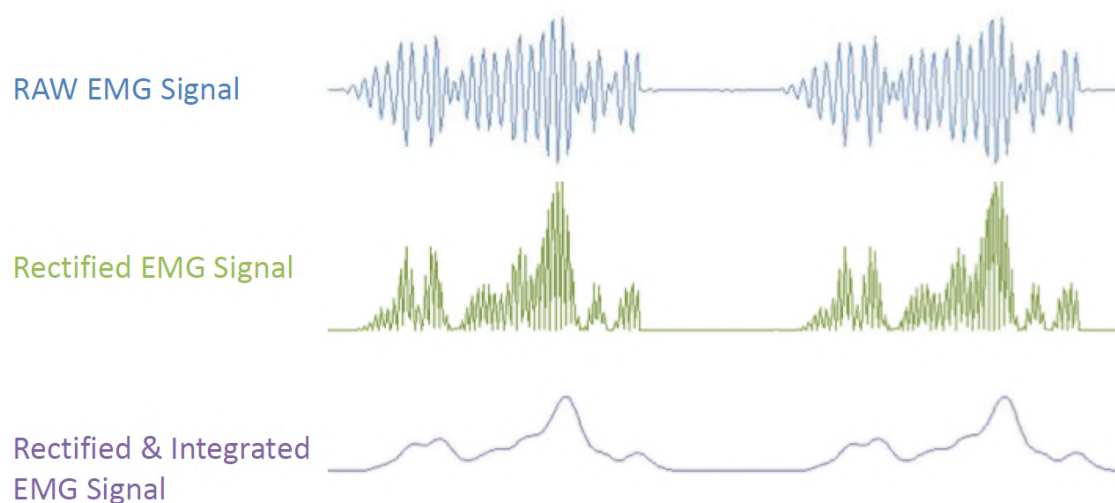
Fonte: Autor (2019).

Em primeira instância, os experimentos com sensores EMG tem como intuito verificar o correto funcionamento de acordo com suas especificações. Estes testes buscaram avaliar capacidade de leitura do sinal mioelétrico pelos sensores *MyoWare*, que representam a aplicação da força muscular pelo indivíduo. Os experimentos foram realizados com a saída do sinal padrão do *MyoWare*, que de acordo com o *datasheet* do sensor as técnicas de processamento digital utilizada são: retificação e integração (AKA *EMG Envelope*), conforme apresenta a Figura 43.

Segundo Rash e Quesada (2003), AKA representa a técnica de envoltório linear (*Linear Envelope*), no qual Robertson *et al.* (2013) acrescenta que, quando o nível de atividade está sendo analisado, o sinal retificado pode ser analisado por um filtro passa baixa, permitindo uma avaliação clara da amplitude do sinal EMG. Nesse sentido, o envoltório linear é uma média móvel que indica a magnitude do sinal. De acordo com Marchetti e Duarte (2006), a retificação do sinal consiste em tomar o valor absoluto EMG, sendo que pode ser realizado de duas maneiras: *full-wave* (técnica utilizada pelos sensores *MyoWare*), rebatendo as partes negativas ou removendo os valores negativos do sinal bruto, conhecido como *half-wave*.

O procedimento realizado foi a execução de uma aplicação que contém o script de

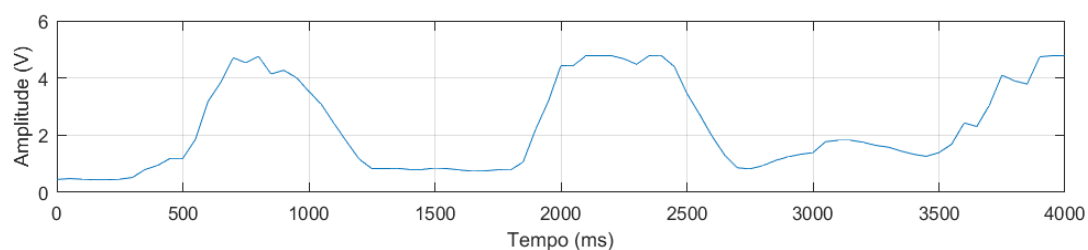
Figura 43 – Ilustração representativa do sinal EMG



Fonte: Myoware (2015).

leitura do sensor de força muscular, que pode variar de 0 a 1023 de acordo com o ADC de 10 bits do Arduino Mega (Tabela 2). A partir destes dados é utilizada uma função que calcula a voltagem aplicada pelo músculo ($voltagem = forcaMuscular * (5/1023)$), podendo variar de 0 a 5V (amplificado pelo sensor). Logo após, é ativado o ambiente monitor serial para o acompanhamento da leitura do sensor e dos valores gerados. Por fim, o sensor foi disposto em contato com a região muscular do braço de um indivíduo e o mesmo fará movimentos de contração e relaxamento. Espera-se que a forma de onda gerada seja condizente com a literatura. A Figura 44 apresenta o gráfico gerado de acordo com o procedimento acima descrito.

Figura 44 – Sinal mioelétrico gerado através da saída do sensor *MyoWare*



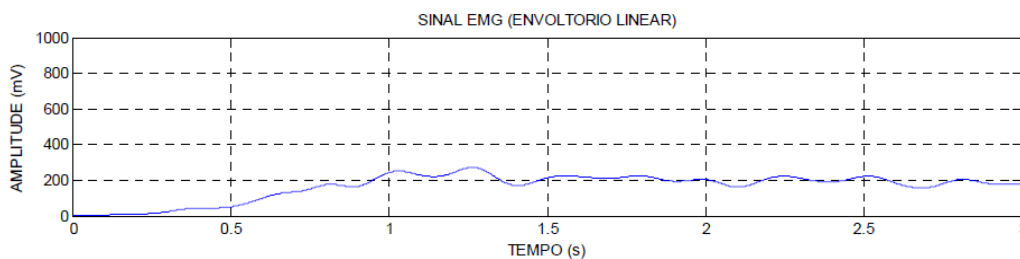
Fonte: Autor (2019).

Para geração dos gráficos da saída dos sensores EMG, foi utilizado o MATLAB¹³, uma ferramenta interativa de análise e *design* de processos com linguagem de programação, que permite manipulação de matrizes, representação de dados e funções, comunica-

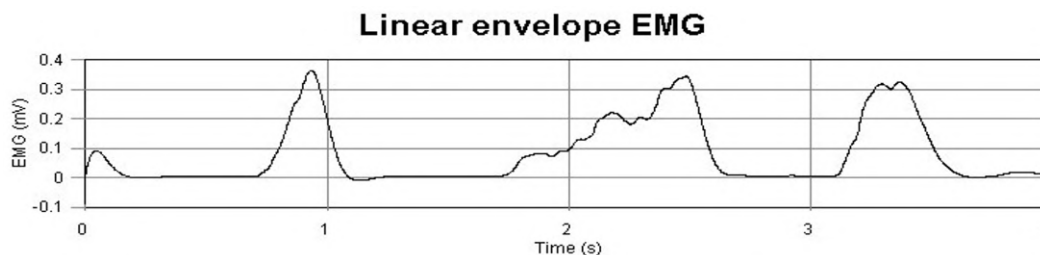
¹³Disponível em: <<https://www.mathworks.com/>>. Acesso em: 15 novembro 2018.

ção com outros programas e dispositivos de *hardware*, entre outras funcionalidades. A fim de validar os dados obtidos, a Figura 45 apresenta gráficos de resultados da literatura após tratamento do sinal mioelétrico com técnicas de retificação *full-wave* e envoltório linear.

Figura 45 – Gráficos de resultados obtidos após técnicas de retificação e envoltório linear.



(a) Marchetti e Duarte (2006)



(b) Robertson (2015)

Fonte: Adaptado de Marchetti e Duarte (2006), Robertson (2015).

Desta maneira, foi possível observar a relação entre os resultados obtidos e a literatura. Assim sendo, os sensores *MyoWare* apresentaram funcionamento correto, de forma a realizar a leitura dos sinais e gerar informações do sinal mioelétrico emitido. Conforme apresentado pelo *datasheet* na Figura 43, a saída *MyoWare* após o processamento digital do sinal mioelétrico com as técnicas de retificação e envoltório linear, condizem com os resultados obtidos na avaliação individual do sensor.

Também, de acordo com a literatura apresentada na Figura 45, pode-se analisar que a saída reproduzida após o tratamento corresponde a saída do *MyoWare*, diferindo-se na amplitude do sinal. Visto que, não há dados da forma de captação dos sinais mioelétricos apresentados por Marchetti e Duarte (2006), Robertson *et al.* (2013), não foi possível realizar maiores observações.

Na etapa de testes com o funcionamento dos dois sensores integrados em uma mesma aplicação, obteve-se resultados adequados, visto a capacidade do Arduino de realizar a leitura dos sensores de maneira sequencial, conforme apresentado no diagrama de

sequência que representa a coleta de dados (Figura 28).

Os experimentos de comunicação entre o nó sensor e a Unity foram realizados de modo que o jogo fosse capaz de reconhecer os dados enviados pelo Arduino. Para isso, foi aberta uma comunicação serial através de um script na *game engine* Unity com os devidos parâmetros utilizando a biblioteca *System.IO.Ports*, permitindo ler os dados escritos em determinada porta pela Unity. Neste teste, foi determinado o tempo de 100ms para leitura dos valores de EMG dos sensores e escrita na porta serial, visando a não sobrecarga de leitura destes valores pela Unity. Para isso, foram realizados testes com tempos menores ou maiores que 100ms, acarretando em instabilidade na realização das ações no *software* ou imprecisão, respectivamente. Desta forma, considerando o atraso da porta serial, a leitura dos dados pelo jogo é realizada de forma precisa. Tal fato possibilita visualizar a movimentação da paleta no jogo em tempo real, de acordo com cada sensor.

Também, foram realizados testes sobre o banco de dados, de modo a avaliar a capacidade de armazenar as informações do jogo de forma correta. Assim sendo, foram executadas sessões de exercícios (conforme descrito nos experimentos científicos abaixo) possibilitando a ferramenta gerar resultados que possam ser armazenados. Os resultados foram satisfatórios, uma vez que, foi possível armazenar as informações referente a sessões realizadas corretamente, possibilitando a geração de relatórios acerca do paciente cadastrado, da sessão e os níveis jogados.

Além dos testes acima descritos, buscou-se obter indicadores do quanto o *PhysioPong* satisfaz o problema de pesquisa levantado. Desta maneira, foram realizados testes do uso da ferramenta com voluntários experientes em jogos e pacientes amputados de membro superior, para que a solução seja avaliada do ponto de vista científico. Os testes com voluntários foram realizados nas dependências da Unipampa e os experimentos com pacientes no SRF e na Ortopédica Canadense¹⁴.

Portanto, foram selecionados voluntários para realização de *playtests* em sessões de exercícios utilizando o *PhysioPong*. O *playtest* tem como objetivo principal eliminar desafios causados por problemas na mecânica e usabilidade do jogo, buscando um *feedback* sobre o produto. Assim, foi aplicado um *playtest* para avaliar, de maneira geral, a versão final da solução desenvolvida. Este documento (Apêndice C) foi gerado com base na metodologia *playtests* para jogos sérios elaborado por Quinn *et al.* (2013), contendo perguntas pertinentes a respeito do jogo quanto a jogabilidade, mecânica e usabilidade. Para as respostas foi adotado o conceito de Escala *Likert* que, de acordo com Amaro, Pó-

¹⁴Empresa localizada na cidade de Porto Alegre que presta serviços ortopédicos na região.

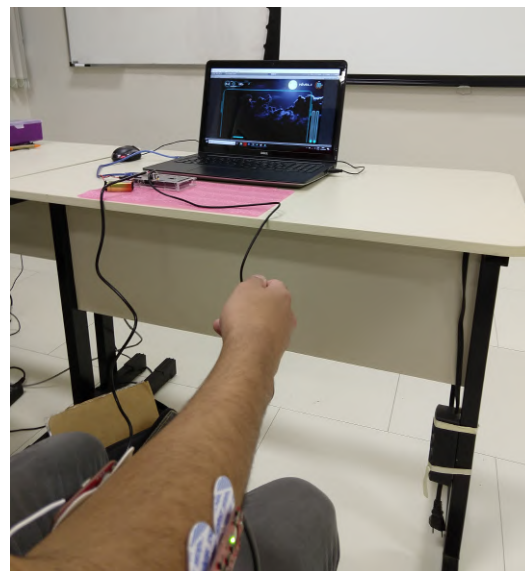
voa e Macedo (2005) apresenta cinco opções de respostas, podendo ser representado por uma pontuação de 1 a 5. Portanto, 1 é a pior avaliação possível e 5 a melhor avaliação.

O *playtest* foi realizado com três voluntários, onde a Figura 46 apresenta a realização destes em dois indivíduos do grupo experimental. Nesta figura é possível observar a disposição dos sensores no braço do indivíduo, o posicionamento e a visão do voluntário em relação ao jogo.

Figura 46 – Realização do *playtest* com voluntários



(a) Voluntário 1



(b) Voluntário 2

Fonte: Autor (2019).

Tendo em vista o propósito deste trabalho, o desenvolvimento de uma solução computacional para o tratamento de amputados de membros superiores, foram selecionados três pacientes amputados para realização de testes com a ferramenta desenvolvida. Estes indivíduos foram escolhidos pelos fisioterapeutas do SRF de acordo com sua aptidão e a capacidade de realizar exercícios com sensores. A Tabela 8 apresenta as características destes pacientes e indicações referente a amputação, como nível, lado e causa.

Tabela 8 – Pacientes selecionados para realização dos experimentos

| Característica | Paciente 1 | Paciente 2 | Paciente 3 |
|-----------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|
| Sexo | Masculino | Masculino | Masculino |
| Idade | 34 | 25 | 39 |
| Nível de amputação | Amputação de punho | Desarticulação de ombro | Transradial |
| Lado da amputação | Direito | Esquerdo | Esquerdo |
| Causa da amputação | Traumática | Traumática | Traumática |

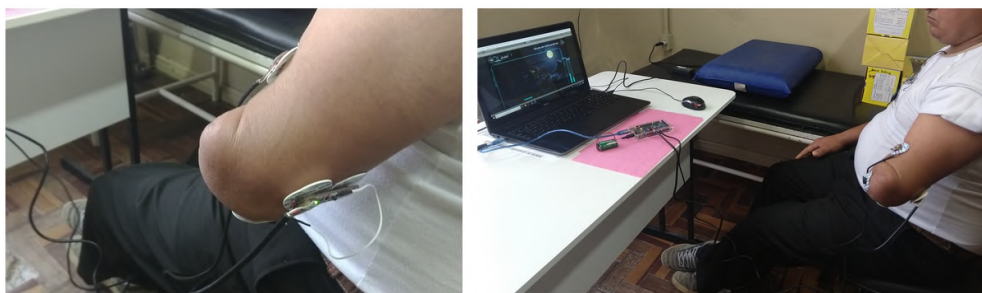
Fonte: Autor (2019).

A Figura 47 apresenta a realização de experimentos com dois destes pacientes. Nestas figuras é possível observar a disposição dos sensores no coto do paciente, diferenciando-se em sua posição. Esta diferença ocorre devido ao próprio nível da amputação e a adequação da melhor posição dos sensores para captação do sinal mioelétrico do músculo. Cabe salientar que, a posição dos sensores é determinada pelos fisioterapeutas.

Figura 47 – Realização de testes com pacientes



(a) Paciente 1



(b) Paciente 2

Fonte: Autor (2019).

Com o intuito de avaliar a ferramenta, considerando a opinião de quem tem experiência e acompanha de perto a reabilitação de amputados, foi elaborado um questionário

para os fisioterapeutas(Apêndice D), buscando obter um *feedback* sobre a utilização do sistema como um todo e verificar se o mesmo atende aos requisitos propostos. Para elaboração deste questionário foi utilizado como base a metodologia de Quinn *et al.* (2013), avaliando os quesitos de jogabilidade, mecânica e usabilidade de jogos sérios. Além disso, Afonso *et al.* (2009), relatam que a usabilidade de um sistema computacional tem como intuito qualificar a funcionalidade do sistema e a satisfação do usuário no uso da ferramenta. O questionário contém oito questões, sendo seis delas de múltipla escolha e duas dissertativas, além de um campo para comentários e observações, possibilitando aos fisioterapeutas contribuírem nas melhorias do jogo. Para as questões de múltipla escolha foi adotado o conceito de Escala *Likert*.

O questionário foi respondido por três profissionais que estiveram em contato com o jogo. Portanto, após a realização de um conjunto de sessões os fisioterapeutas e profissionais da área responderam ao questionário, avaliando a utilização do jogo. Visando o aprimoramento do PhysioPong este questionário também foi respondido durante alguns dos testes realizados ao longo do desenvolvimento da solução. Assim, as respostas para as questões de múltipla escolha foram analisadas a partir média de cada indicação da Escala *Likert* escolhida na avaliação.

Com o intuito de avaliar a ferramenta do ponto de vista do paciente, foi elaborado um questionário para o preenchimento após uma sessão de exercícios(Apêndice E). Este questionário foi desenvolvido com base nos mesmos critérios do questionário de avaliação pelos fisioterapeutas, porém, com foco maior na usabilidade do jogo e a motivação gerada. O questionário contém oito questões e um campo para possíveis observações do paciente.

Portanto, o próximo capítulo irá apresentar os resultados das avaliações dos experimentos científicos, a partir dos questionários elaborados. Além disso, será discutido as implicações do resultado geral da avaliação dos profissionais e, também, explicações a respeito do comportamento dos pacientes diante da solução desenvolvida.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como apontado anteriormente, foram aplicados testes científicos a fim de obter indicadores de quanto o *PhysioPong* satisfaz o problema de pesquisa levantado. Os experimentos abarcaram o uso da aplicação do ponto de vista de indivíduos experientes em jogos e pacientes amputados de membro superior. Posteriormente à realização destes, foram aplicados questionários avaliando a utilização do sistema. Inicialmente, os resultados obtidos na avaliação do *playtest* são apresentados na Figura 48.

Figura 48 – Respostas médias por questão dos *playtests*



Questão 1. O jogo fornece objetivos bem definidos?

Questão 2. O jogador se sente em controle do jogo?

Questão 3. O desafio e progresso são equilibrados?

Questão 4. A primeira experiência foi animadora?

Questão 5. A mecânica do jogo é consistente durante o jogo?

Questão 6. Os controles são fáceis de aprender?

Questão 7. O sistema de controle do jogo (sensores) são confortáveis?

Questão 8. Os movimentos no jogo são executados de forma precisa?

Questão 9. A interface do usuário é familiar?

Questão 10. As informações na tela estão dispostas de maneira agradável?

Questão 11. Os menus e botões estão visualmente agradáveis e integrados com o jogo?

Questão 12. O retorno de desempenho na navegação pelo jogo é adequado?

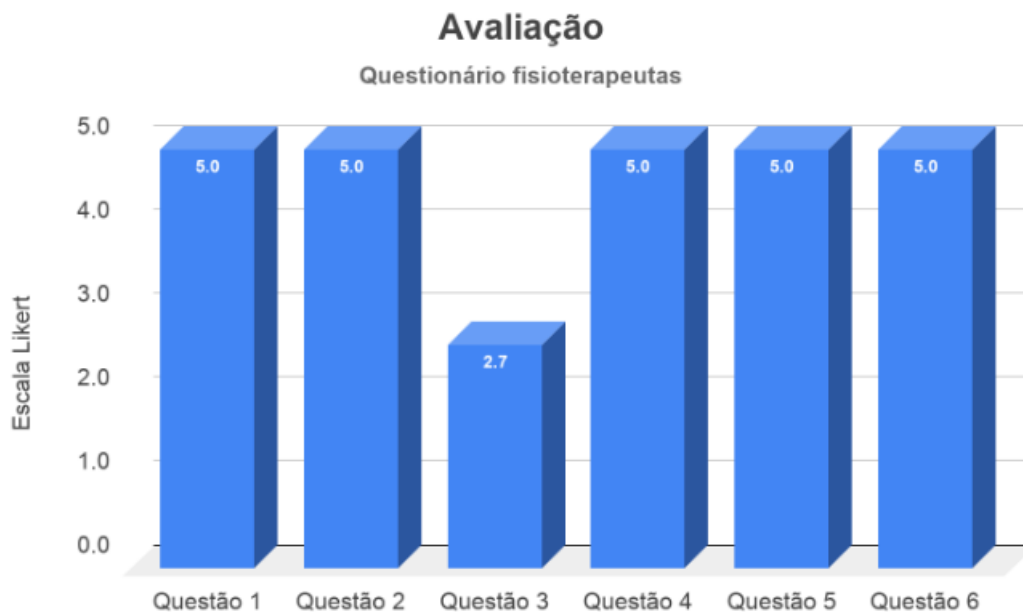
Fonte: Autor (2019).

Os resultados dos *playtests* finais demonstraram que a ferramenta possui uma boa jogabilidade, ou seja, o jogo fornece objetivos bem definidos com desafios e progressos equilibrados, como também, os voluntários sentiram-se em controle do jogo, propiciando uma experiência animadora. A mecânica do jogo foi avaliada como consistente e os controles fáceis de aprender, bem como os movimentos foram executados de forma satisfatória. No quesito de usabilidade o *PhysioPong* foi avaliado com nota máxima em todas as questões, demonstrando positivamente que as informações na tela estão dispostas de maneira agradável, além de um bom retorno de desempenho na navegação pelo jogo. Além disso, no campo de comentários do questionário, um dos voluntários descreveu o seguinte: "A falta de precisão nos movimentos se deve ao fato do voluntário não ter experiência em jogos controlados por músculos".

O resultado da avaliação dos profissionais de fisioterapia foi positiva, visto que a maioria das questões foi pontada com nota máxima. Estes índices demonstraram que o jogo é de fácil compreensão, as informações na tela estão dispostas de maneira agradável e obtiveram uma impressão otimista quanto à satisfação do jogo correspondente a proposta do projeto, o auxílio ao tratamento de amputados de membros superiores. Também, em relação à mecânica do jogo os fisioterapeutas pontuaram que tempo de resposta aos movimentos e sua precisão foram satisfatórios. Além disso, é possível analisar que o jogo possui um nível de dificuldade baixo no contexto do projeto. A Figura 49 demonstra a média por questão dos resultados obtidos na avaliação do *PhysioPong* pelos fisioterapeutas.

Quanto às duas questões discursivas do questionário de avaliação feita pelos profissionais de fisioterapia, são elas: "7 - Para melhorar o acompanhamento do tratamento de pacientes, que informações poderiam ser apresentadas no decorrer do jogo?" e "8 - Descreva textualmente a sua opinião sobre o sistema e os seus possíveis benefícios". Declarações como "poderia informar as medições gráficas, referente a cada músculo testado" foi uma resposta referente a questão 7. Também, quanto à questão 8 obtiveram-se as seguintes respostas: "O sistema auxilia no programa de pré-protetização dos pacientes com amputação de membros superiores. Trabalha a motricidade fina destes pacientes de forma lúdica, percepção corporal e motivação durante o tratamento. O jogo é bem objetivo e de fácil acesso para fisioterapeutas e pacientes.", como também: "Trata-se de uma ferramenta muito útil no processo de reabilitação de pacientes amputados, pois, além de ser usado para ganho de coordenação fina, também propicia ao paciente uma forma de entretenimento, o que faz os pacientes sentirem-se motivados a continuar o tratamento."

Figura 49 – Respostas médias por questão do questionário dos fisioterapeutas



Questão 1. O funcionamento do jogo é de fácil compreensão?

Questão 2. As informações na tela estão dispostas de maneira agradável?

Questão 3. Considerando o contexto em que é proposto, qual o nível de dificuldade?

Questão 4. Qual o tempo de resposta do jogo aos movimentos?

Questão 5. Os movimentos no jogo são executados de forma precisa?

Questão 6. O jogo satisfaz a proposta do projeto?

Fonte: Autor (2019).

Além disso, durante a realização de testes iniciais do jogo um dos fisioterapeutas relatou o seguinte: "Seria interessante uma fase inicial tipo "tutorial" sem a presença da bolinha, semente com os movimentos da raquete". Este comentário foi posto como requisito para versões posteriores e, desta forma, implementada uma fase de treinamento com o intuito de que o paciente se adapte aos movimentos do jogo, conforme a demanda dos fisioterapeutas.

A Figura 50 apresenta o resultado médio por questão da avaliação dos pacientes. Assim, foi possível analisar que os pacientes gostaram de utilizar a solução, relatando ser uma experiência motivadora. Quanto a mecânica do jogo, os movimentos são executados de maneira precisa e com tempo de resposta satisfatório, bem como, o sistema de controle foi pontuado como agradável. Também, os resultados demonstram que as informações na tela estão dispostas de maneira agradável e o jogo possui fácil compreensão.

Figura 50 – Respostas médias por questão do questionário dos pacientes



Questão 1. O funcionamento do jogo é de fácil compreensão?

Questão 2. As informações na tela estão dispostas de maneira agradável?

Questão 3. Qual o nível de dificuldade do jogo?

Questão 4. Qual o tempo de resposta do jogo aos movimentos?

Questão 5. Os movimentos no jogo são executados de forma precisa?

Questão 6. Como você classifica o sistema de controle do jogo?

Questão 7. De forma geral, você gostou do jogo?

Questão 8. Como foi sua experiência com o jogo?

Fonte: Autor (2019).

Portanto, a excussão dos experimentos acima descritos permitem a discussão e avaliação dos resultados obtidos de diferentes pontos de vista, descritos na próxima sessão.

5.1 Discussões

Inicialmente, referente as avaliações pelos voluntários experientes em jogos, possibilitam descrever o quando tecnicamente o jogo atendeu as demandas do problema de

pesquisa levantado. As questões foram elaboradas com base em três pilares, a jogabilidade, a mecânica e a usabilidade. Nesse sentido, as questões de jogabilidade foram avaliadas positivamente, fornecendo objetivos bem definidos com desafios e progressos nos níveis de dificuldade equilibrados. Também, conforme relatado por um dos voluntários, o fato de não possuir experiência e jogos controlados por músculos pode ter diminuído sentimento de estar em controle jogo. Além disso, todos os voluntários sentiram-se animados ao jogar o *PhysioPong*, indicando que, da forma que foi construído o ambiente de jogo se mostrou favorável para motivação de uso da solução.

Quando a mecânica do jogo, de forma geral, foi avaliada como consistente, demonstrando as movimentações do jogo são executadas de maneira que não haja grandes instabilidades. Os controles do jogo pelos sensores foram pontuados como fáceis de aprender, revelando a facilidade de compreensão da mecânica do jogo, além de não apresentar desconforto na sua utilização dos sensores. A precisão dos movimentos foi ponderada como satisfatória, sendo que, a diminuição deste índice pode ser causada pela instabilidade dos sensores de eletromiografia. Para o quesito de usabilidade, o *PhysioPong* foi avaliado com nota máxima em todas as questões, indicando que o *desing* e os elementos na interface estão dispostos de maneira agradável, além de possuir um retorno de desempenho na navegação do jogo adequado. Estes resultados, de forma geral, demonstram que tecnicamente a ferramenta foi desenvolvida de maneira apropriada.

A avaliação dos resultados obtidos no questionário de pacientes, apontam que o jogo é de fácil compreensão, o que se deve ao fato dos controles de movimentação da paleta serem simples e intuitivos. Além disso, o nível de dificuldade foi apontado como baixo, indicando que não se exige do paciente a necessidade de grande raciocínio ao jogar. A execução dos movimentos foi avaliada como precisa, demonstrando a consistência da mecânica do jogo. Também, a reação dos pacientes ao utilizar o *PhysioPong* foi positiva, sendo que os mesmos sentiram-se animados utilizando a solução, demonstrando que o jogo pode, de fato, motiva-los ao tratamento.

Avaliando os resultados obtidos no questionário do fisioterapeuta, foi possível concluir que, a solução desenvolvida pode auxiliar no tratamento, sendo relatado pelo próprios profissionais da área, auxiliando no processo de pré-protetização, na melhora da percepção corporal, além do ganho da motricidade fina propiciado a medida que o paciente avança no tratamento ao jogar o *PhysioPong*. Também, segundo os fisioterapeutas o jogo apresenta uma forma de entretenimento aos pacientes, motivando-os a continuar o tratamento, sendo esse um ponto importante tendo em vista que o abandono do tratamento

é frequente entre pacientes amputados. Desta forma, a perspectiva de quem vivencia o tratamento de amputados diariamente, fundamenta o desenvolvimento desta ferramenta.

Portanto, avaliando de maneira geral, as questões técnicas referentes a jogabilidade, mecânica, aspectos de construção e utilização do jogo foram bem avaliadas tanto pelos paciente e fisioterapeutas como pelos voluntários, demonstrando que a solução foi desenvolvida de maneira adequada. Em relação aos pontos específicos do problema de pesquisa levantado, os resultados indicam que através da gamificação o processo de reabilitação física pode ser aprimorado, além de apoiar na avaliação dos resultados. Além disso, para que seja possível medir o ganho de força muscular e a evolução do paciente no jogo, é necessária a realização de uma sequência maior de testes com cada paciente.

Também, ao longo dos testes foram observadas várias adversidades de mecânica do jogo, como, por exemplo, a movimentação irregular da raquete e da bolinha que, por sua vez, foram sanadas ao longo do desenvolvimento da solução. Essas melhorias implementadas resultaram no aperfeiçoamento significativo da versão final do jogo. O jogo possui a capacidade de melhorias em diversos aspectos de construção, como, por exemplo a possibilidade de inclusão de gráficos que apresentam em tempo real a força muscular exercida pelo paciente, sendo esse elencado pelos fisioterapeutas para uma melhor análise da força muscular exercida pelo paciente ao longo de uma sessão de exercício. Também, pode ser definido novos níveis que aumentem o grau de dificuldade ao jogar o PhysioPong, além de melhorias na mecânica e jogabilidade, em geral.

Quanto a metodologia utilizada, observou-se que as etapas elencadas contemplam todos os requisitos para elaboração deste trabalho, assim como a utilização do método GUP, de forma adaptada, se mostrou adequado para o desenvolvimento do PhysioPong. A implementação do jogo foi realizada pela *game engine* Unity, sendo que a ferramenta não apresentou limitações para o desenvolvimento do jogo proposto, conforme esperado. Também, foi observado uma curva de aprendizagem pequena para a Unity, dado que o jogo foi desenvolvido ao longo desta pesquisa, da mesma forma para a linguagem de programação C#, visto sua semelhança com a linguagem C conhecida.

Dado a possibilidade de continuidade no desenvolvimento do jogo, tendo em vista as demandas de incremento de funcionalidade para um melhor acompanhamento dos pacientes, foram criados documentos pertinentes para a continuidade deste trabalho, como o documento de requisitos e casos de uso, além do GDD contendo toda a documentação do jogo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou uma proposta de solução computacional que permite o tratamento de amputados de membros superiores. A solução intitulada PhysioPong tem como intuito promover uma ferramenta de estímulo a capacidade muscular utilizando uma versão adaptada do jogo Pong, controlado por sinais mioelétricos captados por sensores EMG. Os estímulos para movimentação do jogo são fornecidos pelo próprio esforço muscular do paciente, tendo em vista a necessidade de estimular as diversas áreas motoras do córtex. Além disso, espera-se que viabilize por meio da interatividade proporcionada pelo jogo a motivação do paciente para o tratamento, buscando reintegrar estes indivíduos a sociedade.

Com base nos resultados obtidos é possível analisar que os jogos sérios podem ser ferramentas eficazes no tratamento de amputados, levando uma experiência lúdica aos jogadores. Quanto aos objetivos traçados no início desta pesquisa, pode-se dizer que todos foram atingidos. Inicialmente, a busca pela fundamentação teórica levou a uma maior familiaridade nos temas envolvidos nesta pesquisa, embasando o desenvolvimento deste projeto. A definição dos requisitos juntamente com os fisioterapeutas foram realizadas de maneira eficaz, de modo que os todos os requisitos funcionais e não funcionais foram desenvolvidos ao longo do trabalho, atingindo os objetivos traçados no início da pesquisa. Também, a partir dos requisitos foi possível realizar a modelagem do projeto, baseado em técnicas de engenharia de software. Quanto a metodologia utilizada, observou-se que as etapas elencadas abarcaram todos os quesitos para elaboração deste trabalho, assim como a utilização do método GUP, de forma adaptada, se mostrou adequado para o desenvolvimento do PhysioPong.

A *game engine* Unity foi selecionada pra a implementação desta solução, após uma análise comparativa com outras opções de ferramentas disponíveis. A Unity não apresentou limitações para o desenvolvimento, bem como foi observado uma curva de aprendizagem pouco íngreme, visto que a ferramenta provê diversas funcionalidades intuitivas e documentação acessível, facilitando o desenvolvimento do jogo.

A solução baseou-se no jogo Pong da empresa Atari Inc., que simula um tênis de mesa em 2D, com o intuito de rebater com uma raquete a bolinha e assim pontuar. Como possibilidades de jogo, os fisioterapeutas podem cadastrar novos pacientes, iniciar uma nova sessão de exercícios e gerar relatórios, obtendo os resultados de cada sessão realizada. De acordo com testes realizados a solução apresentou bons resultados, inicialmente

os experimentos com o nó sensor demonstraram a capacidade do sensor *MyoWare* de realizar a leitura dos sinais emitidos pelo músculo e, gerar informações do sinal mioelétrico emitido corresponde com a literatura. Além disso, a integração entre o nó sensor e Unity, demonstraram a capacidade da solução de realizar ações no jogo de forma satisfatória, conforme esperado. O módulo de banco de dados permite armazenar as informações referente as sessões realizadas corretamente, possibilitando a geração de relatórios das informações dos pacientes e as respectivas sessões realizadas. Nesse sentido, os relatórios demonstram a possibilidade dos fisioterapeutas de acompanhar e avaliar os resultados de pacientes.

Os resultados da avaliação dos *playtest* realizados apontam que o jogo possui jogabilidade, mecânicas e funcionalidades compatíveis com a solução proposta, gerando bons resultados e desempenhando o funcionamento esperado. A reação dos pacientes ao utilizar o *PhysioPong* foi positiva, sendo que os mesmos sentiram-se animados utilizando a solução, indicando as possibilidades do jogo de motiva-los ao tratamento. A avaliação dos fisioterapeutas acerca da ferramenta indicam que a possibilidade de resultados no tratamento são promissoras, o que fundamenta a utilização do *PhysioPong*.

Durante o desenvolvimento deste projeto foram adquiridas competências para a implementação de jogos digitais, utilizando as devidas ferramentas para este fim. Também, devido a sua multidisciplinaridade, foram adquiridos inúmeros conhecimentos tanto da área da computação, como da área médica. Além disso, fica evidente que a solução desenvolvida pode ser útil não apenas na reabilitação de amputados de membros superiores, mas também no cotidiano destes indivíduos e na sua adaptação as novas condições de vida.

Por fim, pretende-se dar continuidade ao projeto *PhysioPong*, realizando novos experimentos com os pacientes cadastrados e, também, com novos pacientes selecionados pelos fisioterapeutas, de modo a buscar novos dados que possam agregar no desenvolvimento desta pesquisa.

6.1 Trabalhos futuros

Como o pioneiro no desenvolvimento de uma solução para tratamento de amputados de membro superior na Unipampa, o *PhysioPong* pode ser um ponto de partida para incremento de diversas funcionalidades. Desta forma, como trabalhos futuros destacam-se:

- Adição de gráficos EMG no menu de relatórios para análise da força muscular exercida pelo paciente ao longo de uma sessão de exercícios;
- Desenvolvimento de novos níveis de dificuldade que aumentem o grau de dificuldade do jogo, como o acréscimo de movimentos combinados;
- Inclusão de música e diferentes efeitos sonoros que aumentem o nível de imersão do jogo;
- Integração com o sistema de identificação de fadiga muscular desenvolvido no GIM;
- Integração com Raspberry Pi a fim de criar um "box" com todo sistema PhysioPong, possibilitando o melhor manuseio pelos fisioterapeutas;
- Melhorias na mecânica, jogabilidade e usabilidade, em geral;

REFERÊNCIAS

- ABT, C. C. **Serious games**. [S.l.]: University press of America, 1987.
- AFONSO, A. P. *et al.* **A avaliação da usabilidade de um sistema médico inteligente: BCCT**. Core, 2009.
- ALMEIDA, M. **Filtragem Digital de Sinais Biomédicos**. 116p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Brasil, 1997.
- ALVAREZ, J.; DJAOUTI, D. *et al.* An introduction to serious game definitions and concepts. **Serious Games & Simulation for Risks Management**, v. 11, p. 11–15, 2011.
- AMARO, A.; PÓVOA, A.; MACEDO, L. A arte de fazer questionários. **Porto, Portugal: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto**, 2005.
- ANWAR, F.; ALKHAYER, A. Perceptions of prosthetic limb among lower limb amputees. **International Journal of Therapies and Rehabilitation Research**, v. 5, n. 4, p. 175–179, 2016.
- BANZI, M. Primeiros passos com o arduino. **São Paulo: Novatec**, p. p1, 2011.
- BASMAJIAN, J. V.; LUCA, C. J. D. **Muscles alive: their functions revealed by electromyography**. [S.l.]: Williams & Wilkins, 1985.
- BELTRAMINI, L. M. **Elementos de histologia e anatomo-fisiologia humana**. [S.l.]: IFSC, 1999.
- BIDDISS, E. A.; CHAU, T. T. Upper limb prosthesis use and abandonment: a survey of the last 25 years. **Prosthetics and orthotics international**, v. 31, p. 236–257, set. 2007. ISSN 0309-3646.
- BOCCOLINI, F. **Reabilitação: amputados, amputações e próteses**. 2. ed. São Paulo: [s.n.], 2000.
- BRAUWERS, R. Estendendo e instanciando o game agile methods applied (gama). 2011.
- BURKE, J. W. *et al.* Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games. **The Visual Computer**, v. 25, n. 12, p. 1085, Aug 2009. ISSN 1432-2315. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00371-009-0387-4>. Acesso em: 03 set. 2018.
- CAIAFA, J. S.; CANONGIA, P. M. Atenção integral ao paciente com pé diabético: um modelo descentralizado de atuação no rio de janeiro. **J Vasc Br**, v. 2, n. 1, p. 75–8, 2003.
- CARVALHO, J. A. **Amputações de membros inferiores: em busca da plena reabilitação**. [S.l.]: Manole, 2003.
- CASCO, S. Raspberry pi, arduino y beaglebone black comparación y aplicaciones. **Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Facultad de Ciencias y Tecnología**, 2017.

- CAVALCANTE, R. S. *et al.* Desenvolvimento de um jogo sério para treinamento de amputados de membros superiores. Universidade Federal de Uberlândia, 2018.
- CHAMLIAN, T. R. e. a. Dor relacionada à amputação e funcionalidade em indivíduos com amputações de membros inferiores. **Acta Fisiátrica**, v. 21, n. 3, p. 113–116, 2016.
- CLARYS, J. P.; LEWILLIE, L. Clinical and kinesiological electromyography by ‘le dr duchenne (de boulogne)’. **Bioloocomotion: A Century of Research Using Moving Pictures-Formia**. Roma, p. 89–114, 1992.
- COIERA, E. **Guide to health informatics**. [S.l.]: CRC press, 2015.
- CRENSHAW, A. **Cirurgia ortopédica de campbell**. 8. ed. São Paulo: [s.n.], 1996.
- CRESWELL, J. W. Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto. In: **Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto**. [S.l.: s.n.], 2010.
- DATTA, D.; SELVARAJAH, K.; DAVEY, N. Functional outcome of patients with proximal upper limb deficiency–acquired and congenital. **Clinical rehabilitation**, SAGE Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 18, n. 2, p. 172–177, 2004.
- DAVOODI, R.; LOEB, G. E. Development of a physics-based target shooting game to train amputee users of multijoint upper limb prostheses. **Presence**, v. 21, n. 1, p. 85–95, Feb 2012. ISSN 1054-7460.
- DAWSON, M. R.; CAREY, J. P.; FAHIMI, F. Myoelectric training systems. **Expert review of medical devices**, Taylor & Francis, v. 8, n. 5, p. 581–589, 2011.
- DELISA, J. A. **Tratado de Medicina de Reabilitação: Princípios e Práticas**. São Paulo: [s.n.], 2002.
- DIAS, R.; SAMPAIO, I.; TADDEO, L. A introdução do lúdico no processo de reabilitação de pacientes em tratamento fisioterapêutico. In: **VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment**. [S.l.: s.n.], 2009. v. 4.
- DILSIZIAN, S. E.; SIEGEL, E. L. Artificial intelligence in medicine and cardiac imaging: harnessing big data and advanced computing to provide personalized medical diagnosis and treatment. **Current cardiology reports**, Springer, v. 16, n. 1, p. 441, 2014.
- DORLAN, W. (Ed.). **Dicionário médico ilustrado**. 28. ed. SaoPaulo: Manole, 1999.
- ECK, R. V. Digital game-based learning: It’s not just the digital natives who are restless. **EDUCAUSE review**, Educause, v. 41, n. 2, p. 16, 2006.
- FERNANDES, F. G.; CARDOSO, A.; JÚNIOR, E. A. L. Feel your arm: Serious game para apoio à reabilitação utilizando dispositivo vestível myo. 2016.
- FERNANDES, F. G.; CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E. Adaptação de jogos sérios para crianças com deficiência física nos membros superiores. In: **Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação**. [S.l.: s.n.], 2016. v. 5, n. 1, p. 598.
- FLOOD, K. **Game Unified Process**. 2003. Disponível em: <https://www.gamedev.net/articles/programming/general-and-gameplay-programming/game-unified-process-r1940/>. Acesso em: 04 mar. 2019.

- GAMBHIR, S.; MALIK, S. K.; KUMAR, Y. Role of soft computing approaches in healthcare domain: a mini review. **Journal of medical systems**, Springer, v. 40, n. 12, p. 287, 2016.
- GARDINER, M. D. **Manual de terapia por exercício**. 4^a. ed. São Paulo, 1995.
- GUYTON, A. **Fisiologia humana**. 6. ed. [S.l.: s.n.], 1998.
- HADJIDJ, A. *et al.* Wireless sensor networks for rehabilitation applications: Challenges and opportunities. **Journal of Network and Computer Applications**, Elsevier, v. 36, n. 1, p. 1–15, 2013.
- HONDORI, H. M.; KHADEMI, M. A review on technical and clinical impact of microsoft kinect on physical therapy and rehabilitation. **Journal of medical engineering**, Hindawi, v. 2014, 2014.
- HUANG, T. *et al.* Promises and challenges of big data computing in health sciences. **Big Data Research**, Elsevier, v. 2, n. 1, p. 2–11, 2015.
- JUNIOR, R. S. M. *et al.* Efeito da reabilitação virtual em diferentes tipos de tratamento. **Revista de Atenção à Saúde (antiga Rev. Bras. Ciên. Saúde)**, v. 9, n. 29, 2012.
- KARVINEN, K.; KARVINEN, T. **Getting Started with Sensors: Measure the World with Electronics, Arduino, and Raspberry Pi**. [S.l.]: Maker Media, Inc., 2014. Acesso em: 12 fev. 2019.
- KOTILA, M. *et al.* Depression after stroke: results of the finnstroke study. **Stroke**, v. 29, p. 368–372, fev. 1998. ISSN 0039-2499.
- LAAMARTI, F.; EID, M.; SADDIK, A. E. An overview of serious games. **International Journal of Computer Games Technology**, Hindawi Publishing Corp., v. 2014, p. 11, 2014.
- LEBLANC, M. **Give hope—give a hand. TheLN-4ProstheticHand**. [S.l.: s.n.], 2008.
- LEITÃO, A.; LEITÃO, V. d. A. **Clínica de reabilitação**. 1^a. ed. São Paulo: [s.n.], 1995.
- LIANZA, S. Medicina de reabilitação. In: **Medicina de reabilitação**. [S.l.: s.n.], 1995.
- LIANZA, S. **Medicina de reabilitação**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.
- LUCA, C. J. **Surface electromyography: detection and recording**. 2002. Disponível em: https://www.delsys.com/Attachments_pdf/WP_SEMGintro.pdf. Acesso em: 20 set. 2018.
- MAAT, B. *et al.* Passive prosthetic hands and tools: A literature review. **Prosthetics and orthotics international**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 42, n. 1, p. 66–74, 2018.
- MACHADO, L. d. S. *et al.* Serious games based on virtual reality in medical education. **Revista Brasileira de Educação Médica**, SciELO Brasil, v. 35, n. 2, p. 254–262, 2011.
- MARCHETTI, P. H.; DUARTE, M. Instrumentação em eletromiografia: Escola de educação física e esporte. **Laboratório de Biofísica**, 2006.

MARTINS, N. A. Sistemas microcontrolados. **Uma abordagem com o Microcontrolador PIC 16F84**. Editora Novatec Ltda, 1^a edição, 2005.

MCGIMPSEY, G.; BRADFORD, T. C. Limb prosthetics services and devices. **Bioengineering Institute Center for Neuroprosthetics Worcester Polytechnic Institution**, 2008.

MEIER, R. H.; MELTON, D. Ideal functional outcomes for amputation levels. **Physical Medicine and Rehabilitation Clinics**, Elsevier, v. 25, n. 1, p. 199–212, 2014.

MEIKE, R. **Arduino Uno vs BeagleBone vs Raspberry Pi**. Disponível em: <http://makezine.com/2013/04/15/arduino-uno-vs-beaglebone-vs-raspberry-pi>: [s.n.], 2012. Acesso em: 28 fev. 2019.

MICHAEL, D. R.; CHEN, S. L. Serious games. games that educate, train, and inform (lernmaterialien): Games that educate, train, and info. Itps Thomson Learning, 2005.

MIOTEC. **Tecnologia na árie da fisioterapia: conheça as mais importantes**. [S.l.: s.n.], 2017.

MORITZ, C. *et al.* 'neurogame therapy' for improvement of movement coordination after brain injury: Developing a wireless biosignal game therapy system. In: IEEE. **Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 2011 IEEE**. [S.l.], 2011. p. 72–77.

MS. **Plano de ações estratégicas para o enfrentamento das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) no Brasil 2011-2022**. Brasília: [s.n.], 2011.

MS. **Vigitel Brasil 2011: Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico**. Brasília: [s.n.], 2012.

MS. **Diretrizes de atenção a pessoas amputada**. 1. ed. Brasília: [s.n.], 2013.

MUZUMDAR, A. **Powered Upper Limb Prostheses: Control, Implementation and Clinical Application; 11 Tables**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2004.

MYOWARE. **MyoWare Muscle Sensor : User Manual**. 2015. Disponível em: <http://www.advancertechnologies.com/p/myoware.html>. Acesso em: 25 set. 2018.

NAEEM, M.; ARSHAD, S.; ASHRAF, M. W. Embedded trainer board. **International Journal of Technology and Research**, Technology and Research Publications, v. 2, n. 3, p. 98, 2014.

NOGUEIRA, K. L. *et al.* Um framework de realidade virtual e aumentada para apoio a sistemas de reabilitação. Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

NUNES, F. d. L. dos S. *et al.* Realidade virtual para saúde no brasil: conceitos, desafios e oportunidades. **Rev. Bras. Eng. Biom**, v. 27, n. 4, p. 243–258, 2011.

OLIVEIRA, D. C. S. de *et al.* Análise eletromiográfica de músculos do membro inferior em exercícios proprioceptivos realizados com olhos abertos e fechados. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, Directory of Open Access Journals, v. 18, n. 4, p. 261–266, 2012.

ORTOLAN, R. L. **Estudo e Avaliação de Técnicas de Processamento de Sinal Mioelétrico para Controle de Sistemas de Reabilitação**. 133 p. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado)-Universidade de São Paulo (USP), São Carlos-SP, 2002.

PATEL, S. *et al.* A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, BioMed Central, v. 9, n. 1, p. 21, 2012.

PEDRINELLI, A. **Tratamento do paciente com amputação**. 1^a. ed. São Paulo: Roca, 2004.

PEERDEMAN, B. *et al.* Myoelectric forearm prostheses: state of the art from a user-centered perspective. **Journal of rehabilitation research and development**, v. 48, p. 719–737, 2011. ISSN 1938-1352.

PEREIRA, F. **Microcontroladores HC908Q: teoria e pratica**. [S.l.]: Érica, 2004.

PERRY, B. N. *et al.* A virtual integrated environment for phantom limb pain treatment and modular prosthetic limb training. In: **2013 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 153–157. ISSN 2331-9542.

PINTO, M. A. G. A reabilitação do paciente amputado. In: LIANZA, S. (Ed.). **Medicina de reabilitação**. 3^a. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. p. 170–187.

PIRON, L. *et al.* Satisfaction with care in post-stroke patients undergoing a telerehabilitation programme at home. **Journal of telemedicine and telecare**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 14, n. 5, p. 257–260, 2008.

PORTER, S. B. **Fisioterapia de Tidy**. 13. ed. [S.l.]: Elsevier, 2005.

PORTEY, L. Eletromiografia e testes de velocidade de condução nervosa. In: SULLIVAN, O.; SUSAN, B.; SHMITZ-THOMA, J. (Ed.). **Reabilitação física: avaliação e tratamento**. 2. ed. São Paulo: Manole, 1993. p. 183–223.

PRAHM, C. *et al.* Increasing motivation, effort and performance through game-based rehabilitation for upper limb myoelectric prosthesis control. In: IEEE. **Virtual Rehabilitation (ICVR), 2017 International Conference on**. [S.l.], 2017. p. 1–6.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2^a Edição**. [S.l.]: Editora Feevale, 2013.

QUINN, M. M. *et al.* Methodology for playtesting serious games a case study using a mixed method approach. In: IEEE. **2013 IEEE International Games Innovation Conference (IGIC)**. [S.l.], 2013. p. 222–227.

RASH, G. S.; QUESADA, P. Electromyography fundamentals. **Retrieved February**, v. 4, 2003.

RIET, D. van der *et al.* An overview and comparison of upper limb prosthetics. In: IEEE. **AFRICON, 2013**. [S.l.], 2013. p. 1–8.

- ROBERT, H.; ESQUENAZI, A. Follow-up, outcomes and long-term experiences in adults with upper extremity amputation. In: ATKINS, D. J.; MEIER, R. H. (Ed.). **Functional restoration of adults and children with upper extremity amputation**. New York: Demos Medical, 2004. p. 327–336.
- ROBERTSON, D. G. E. **Electromyography: Processing**. 2015. Disponível em: <http://health.uottawa.ca/biomech/courses/apa4311/emg-p2.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2019.
- ROBERTSON, G. *et al.* **Research methods in biomechanics**. 2. ed. [S.l.]: Human Kinetics, 2013.
- ROCHA, J. P. M. *et al.* Um exemplo do uso da abp na disciplina de instrumentação eletrônica do ifpb–mini geladeira peltier controlada por arduino. In: **XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (Cobenge 2013)**. [S.l.: s.n.], 2013.
- ROCHE, A. D. *et al.* Prosthetic myoelectric control strategies: A clinical perspective. **Current Surgery Reports**, v. 2, n. 3, p. 44, Jan 2014. ISSN 2167-4817. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40137-013-0044-8>. Acesso em: 20 out. 2018.
- ROESCHLEIN, R. A.; DOMHOLDT, E. Factors related to successful upper extremity prosthetic use. **Prosthetics and orthotics international**, v. 13, p. 14–18, abr. 1989. ISSN 0309-3646.
- SAMPOL, A. Tratamento fisioterápico no amputado de membro inferior no período ambulatorial. **Fisio Ter**, v. 3, 2000.
- SBD. **Diretrizes da sociedade brasileira de diabetes: 2014-2015**. São Paulo: [s.n.], 2015.
- SCHWEITZER, P.; MIQUELLUTI, D. Fisioterapia ortopédica e medicina ortopédica. **Fisioter Bras**, v. 5, n. 5, p. 375–379, 2004.
- SCOTT, R. Myoelectric control of prostheses: A brief history. In: **MYOELECTRIC SYMPOSIUM**. Canada, 1992.
- SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. [S.l.]: Cortez editora, 2017.
- SHEEHAN, T. Rehabilitation and prosthetic restoration in upper limb amputation. **Physical Medicine and Rehabilitation**. 4th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders, p. 257–76, 2011.
- SILVA, E. L. d.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 3. ed. rev. atual, 2001.
- SLIJPER, A. *et al.* Computer game-based upper extremity training in the home environment in stroke persons: a single subject design. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, BioMed Central, v. 11, n. 1, p. 35, 2014.
- SOUZA, A. R. de *et al.* A placa arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo pc. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1702, 2011.

STURMA, A. *et al.* Advanced rehabilitation for amputees after selective nerve transfers: Emg-guided training and testing. In: JENSEN, W.; ANDERSEN, O. K.; AKAY, M. (Ed.). **Replace, Repair, Restore, Relieve – Bridging Clinical and Engineering Solutions in Neurorehabilitation**. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 169–177. ISBN 978-3-319-08072-7.

SUSI, T.; JOHANNESSON, M.; BACKLUND, P. Serious games—an overview [technical report hs-iki-tr-07–001]. **Skövde, Sweden: University of Skövde School of Humanities and Informatics**, 2007.

TEIXEIRA, I. C. Jogo virtual controlado pelos sinais mioelétricos na recuperação de pacientes com lesão muscular nos membros superiores e/ou inferiores. 2013.

THOMSEN, A. **Qual Arduino Comprar? Conheça os Tipos de Arduino**. 2014. Disponível na Internet: <https://www.filipeflop.com/blog/tipos-de-arduino-qual-comprar/>. Acesso em: 25 fev. 2019.

VOINESCU, M. *et al.* Estimation of the forces generated by the thigh muscles for transtibial amputee gait. **Journal of biomechanics**, v. 45, p. 972–977, abr. 2012. ISSN 1873-2380.

WILMSHURST, T. **Designing embedded systems with PIC microcontrollers: principles and applications**. [S.l.]: Elsevier, 2006.

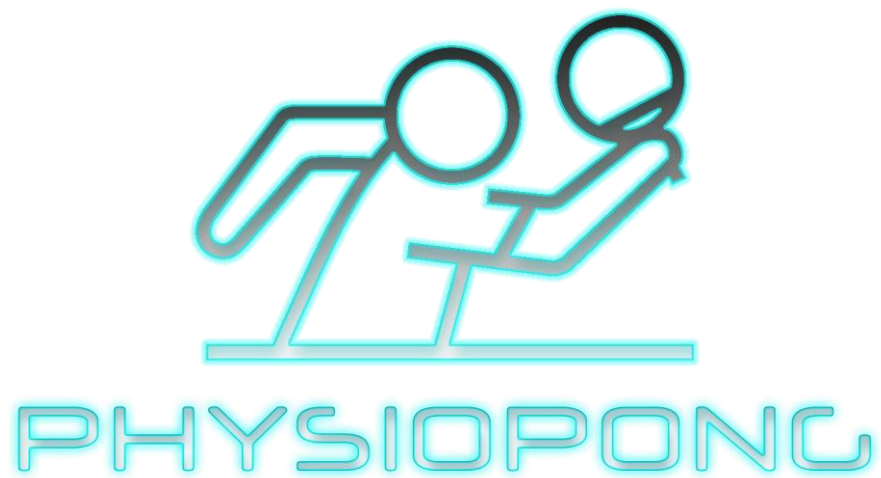
WINSLOW, B. D.; RUBLE, M.; HUBER, Z. Mobile, game-based training for myoelectric prosthesis control. **Frontiers in bioengineering and biotechnology**, v. 6, p. 94, 2018. ISSN 2296-4185.

XAVIER, T. C. **Estudo e desenvolvimento de jogos para internet utilizando unity 3D**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Federal Sul-Rio-Grandense., 2011.

ZIEGLER-GRAHAM, K. *et al.* Estimating the prevalence of limb loss in the united states: 2005 to 2050. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 89, p. 422–429, mar. 2008. ISSN 1532-821X.

ZYDA, M. From visual simulation to virtual reality to games. **Computer**, IEEE, v. 38, n. 9, p. 25–32, 2005.

APÊNDICE A – DOCUMENTO DE REQUISITOS E CASOS DE USO



Documento de Requisitos e Casos de Uso

Histórico

| Data | Versão | Autor | Revisão |
|-------------|---------------|---------------|--|
| 11/2018 | 1.0 | Jone Follmann | Érico Marcelo Hoff do Amaral Julio Domingues Saraçol Junior |
| 06/2019 | 1.1 | Jone Follmann | Érico Marcelo Hoff do Amaral |

Introdução

Este documento especifica o projeto PhysioPong, fornecendo as informações necessárias para implementação do projeto, sendo possível a realização de testes do sistema. Será detalhado informações sobre os requisitos funcionais e não funcionais, além de casos de usos do PhysioPong.

Método de obtenção

O levantamento dos requisitos foi realizado através de reuniões com os profissionais de fisioterapia do Serviço de Reabilitação Física de Bagé/RS.

Convenções, termos e abreviações

A correta interpretação deste documento exige o conhecimento de algumas convenções termos específicos, que são descritos a seguir. Por convenção, a referência a requisitos é feita através do nome da subseção onde eles estão descritos, seguidos do identificador do requisito, de acordo com a especificação a seguir: [nome da subseção. Identificador do requisito].

Para estabelecer a prioridade dos requisitos foram adotadas as denominações “essencial”, “importante” e “desejável”.

- Essencial é o requisito sem o qual o sistema não entra em funcionamento. Requisitos essenciais são requisitos imprescindíveis, que têm que ser implementados impreterivelmente.
- Importante é o requisito sem o qual o sistema entra em funcionamento, mas de forma não satisfatória. Requisitos importantes devem ser implementados, porém, se não forem o sistema poderá ser implantado e utilizado mesmo assim.
- Desejável é o requisito que não compromete as funcionalidades básicas do sistema, isto é, o sistema pode funcionar de forma satisfatória sem ele. Requisitos desejáveis são requisitos que podem ser deixados para versões posteriores do sistema, caso não haja tempo hábil para implementá-los na versão que está sendo especificada.

Requisitos funcionais

Os requisitos funcionais serão apresentados de maneira numerada é descreverão as seguintes definições: (i) a descrição do requisito; (ii) o nível de prioridade do requisito, podendo ser desejável, importante ou essencial; (iii) as condições que envolvem o requisito;

[RF01] Coletar dados

Descrição: : O sistema deve ser capaz de coletar dados, a cada instante, através de sensores EMG.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: É preciso que tenha uma nova sessão de exercícios para coletar os dados.

[RF02] Enviar dados

Descrição: O sistema deve ser capaz de, a cada instante, enviar dados para o software.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: É preciso que tenha uma nova sessão de exercícios para coletar os dados e enviar ao software.

[RF03] Manipular dados

Descrição: O sistema deve ser capaz de manipular dados para que possa ser apresentado e armazenado de maneira legível.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: É preciso que tenha uma nova sessão de exercícios para coletar os dados e enviar ao software.

[RF04] Iniciar jogo

Descrição: O sistema deve ser capaz de iniciar uma nova sessão do jogo toda vez que for necessário.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: É preciso que o sistema esteja pronto para ser executado, para que a coleta e o envio de dados possa ser realizada, e assim iniciar o jogo.

[RF05] Mover uma raquete

Descrição: O sistema deve ser capaz de, através da coleta de dados dos sensores, realizar uma movimentação de uma raquete no jogo.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: É preciso coletar dados dos sensores EMG acoplados no coto do paciente.

[RF06] Sistema de pontuação

Descrição: O sistema deve ser capaz mostrar ao jogador o seu avanço através do jogo.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: É preciso que o jogador rebata a bolinha com a raquete.

[RF07] Níveis de dificuldade

Descrição: O sistema deve ser capaz de prover níveis de dificuldade a medida que o usuário avança no tratamento.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: É preciso que o usuário complete as metas estabelecidas para cada nível.

[RF08] Sessão de treinamento do jogo

Descrição: O sistema deve ser capaz de prover um nível de treinamento para que o paciente se adapte com os controles do jogo.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: É preciso que seja iniciada uma sessão de treinamento

[RF09] Apresentar dados durante o jogo

Descrição: O sistema deve ser capaz de, a partir da leitura dos sensores EMG, apresentar a intensidade da força muscular durante o jogo através de barras de amplitude.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: É preciso que uma nova sessão de exercícios seja iniciada para que os dados sejam coletados e assim, enviados ao software onde serão apresentados na interface gráfica.

[RF10] Gravar dados pós sessão

Descrição: O sistema deve ser capaz de armazenar as informações referente a sessão de exercícios. Informações pertinentes são: tempo, taxa de acertos, fisioterapeuta, descrição, dados informados no início da sessão, bem como data e hora, possibilitando identifica-la posteriormente.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: É preciso que o paciente tenha realizado uma sessão de exercícios.

[RF11] Gerar relatórios

Descrição: O sistema precisa ser capaz de quando solicitado apresentar ao fisioterapeuta um relatório com dados referentes as sessões de exercícios realizada.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: É preciso que o paciente tenha realizado uma sessão de exercícios.

[RF12] Retorno auditivo

Descrição: O sistema deve ser capaz de prover retornos auditivos ao usuário, durante a execução do jogo.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: É preciso que ocorra um evento que possa gerar um retorno auditivo, como a bolinha bater na raquete, na parede ou o usuário deixar a bolinha cair.

[RF13] Cadastrar paciente

Descrição: O sistema deve ser capaz de cadastrar um novo paciente toda vez que for necessário. As informações para o cadastro são: nome, idade, sexo, nível de amputação, escolaridade, contato, peso, altura e um campo com outras informações descritivas caso o fisioterapeuta julgue necessários adiciona-las.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: Para adicionar um novo paciente é preciso as informações sobre o indivíduo.

[RF14] Buscar cadastro

Descrição: O sistema deve ser capaz de permitir ao fisioterapeuta buscar o cadastro de um paciente já registrado no sistema.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Condições: Para a busca de um novo cadastro é preciso apenas que o paciente esteja registrado no sistema.

Requisitos não funcionais

Os requisitos não funcionais serão apresentados de maneira numerada e descreverão as seguintes definições: (i) a descrição do requisito; (ii) o nível de prioridade do requisito, podendo ser desejável, importante ou essencial;

[RNF01] Usabilidade

Descrição: A interface do usuário deve ser amigável, atrativa, simples e de fácil uso.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

[RNF02] Confiabilidade

Descrição: O sistema deve ser confiável, mantendo sempre a integridade na coleta, apresentação e armazenamento dos dados, bem como seu funcionamento em linhas gerais.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

[RNF03] Desempenho

Descrição: O sistema deve apresentar um desempenho que não acarrete em delay no sistema, congelamento das telas ou qualquer tipo de falha que desencadeie uma perda de funcionalidade.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

[RNF04] Flexibilidade

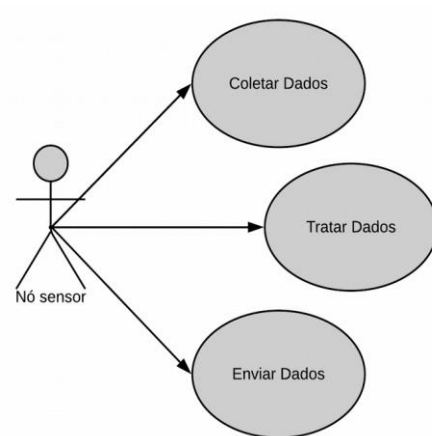
Descrição: É desejável que o sistema seja implementável de maneira que seja possível em um momento futuro flexibilizar suas funcionalidades e até mesmo que novas funções sejam adicionadas.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

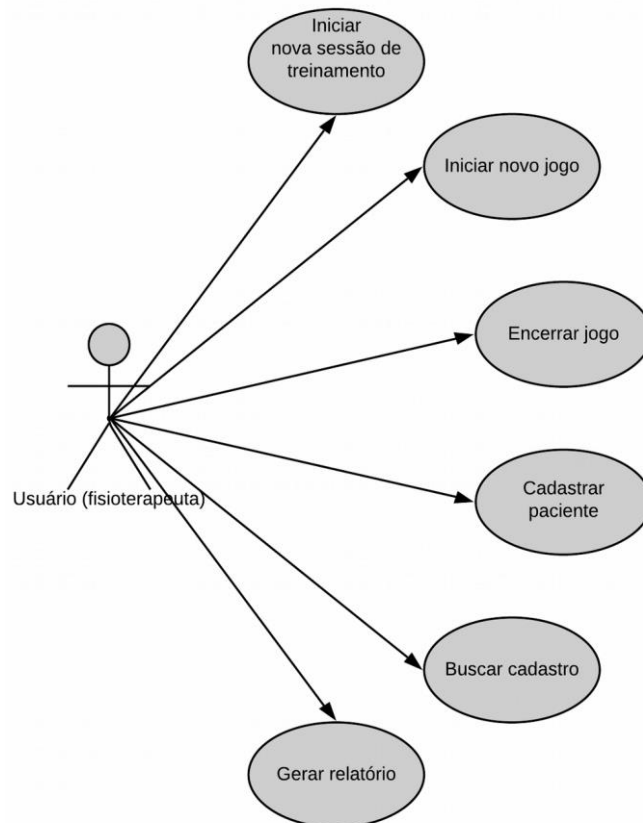
Casos de uso

Os casos de uso serão apresentados de maneira numerada e descreverão os casos do nó sensor, do usuário e do sistema.

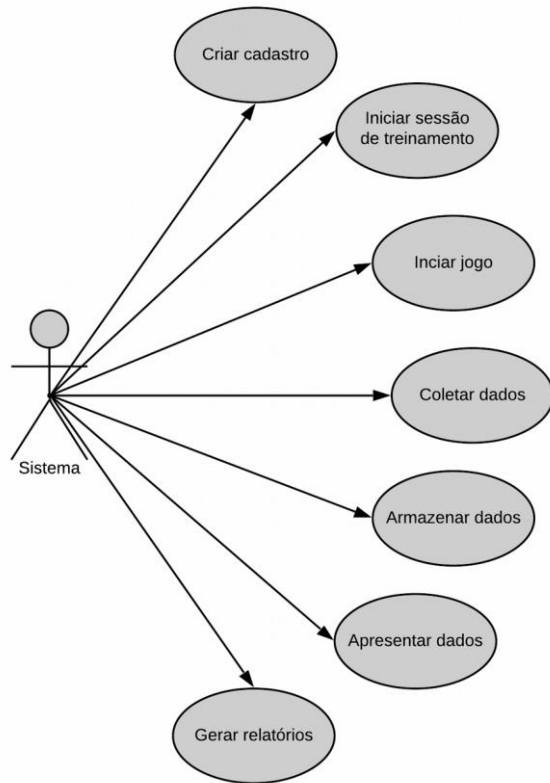
[DCU01] Nó sensor



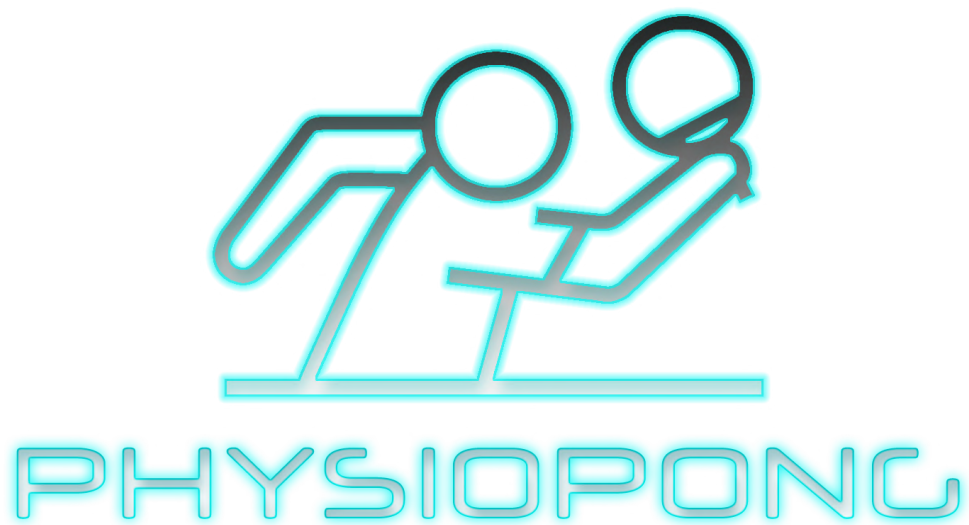
[DCU02] Usuário



[DCU03] Sistema



APÊNDICE B – *GAME DESIGN DOCUMENT*



Documento de Projeto de Jogo (GDD)

Escrito por: Jone Follmann

Revisado por: Érico Marcelo Hoff do Amaral

Data: 01/06/2019

Versão 1.0

Sumário

| | |
|--|-----------|
| Histórico | 3 |
| Objetivos do Jogo | 3 |
| Visão Geral da História | 3 |
| Condições de Vitória / Derrota | 3 |
| Níveis de Jogo | 3 |
| Pontuação | 4 |
| Música e Efeitos Especiais | 4 |
| Exigências de Tecnologia | 4 |
| Controles do Jogo | 5 |
| Sistema de HUD | 5 |
| Mecânicas do Jogador | 6 |
| Cenas e Menus | 6 |
| O jogo foi dividido em cenas e menus, a fim de contemplar todos os requisitos. | 6 |
| Cena: Apresentação Unity 1 | 6 |
| Cena: Apresentação Unity 2 | 7 |
| Cena: Menu Principal | 7 |
| Menu: Nova Sessão | 8 |
| Cena: Principal Nível de Treinamento | 12 |
| Cena: Principal Nível 1 | 13 |
| Cena: Principal Nível 2 | 13 |
| Cena: Principal Nível 3 | 14 |
| Cena: Principal Nível 4 | 14 |
| Fluxo de Jogo | 16 |
| Sequência de menus de uma nova sessão | 16 |
| Sequência de menus de relatórios | 17 |
| Sequência de menus de cadastro | 17 |

Histórico

| Data | Versão | Autor | Revisão |
|------------|--------|---------------|------------------------------|
| 01/06/2019 | 1.0 | Jone Follmann | Érico Marcelo Hoff do Amaral |

Objetivos do Jogo

O objetivo deste jogo é auxiliar no tratamento de indivíduos amputados de membros superiores.

Visão Geral da História

A solução baseia-se no jogo Pong da empresa Atari Inc., que simula um tênis de mesa em 2D, com o intuito de rebater com uma raquete uma bolinha e assim pontuar. O paciente amputado pode controlar a paleta horizontalmente na parte inferior da tela através de dois sensores EMG.

Condições de Vitória / Derrota

O paciente ganha pontos ao rebater a bolinha. O progresso é medido através do Índice de Desempenho(ID) desenvolvido para o jogo juntamente com profissionais de fisioterapia, a fim de mensurar a evolução do paciente ao longo do tratamento. O ID corresponde ao número de pontos consecutivos obtidos sem deixar a bolinha "cair". Desta forma, quanto maior o índice presume-se que o paciente tenha um domínio maior sobre a ferramenta.

Níveis de Jogo

O PhysioPong contém quatro níveis de dificuldade implementados e um nível de treinamento, podendo ser escolhidos pelo fisioterapeuta de acordo com a evolução do paciente no tratamento. Os níveis de dificuldade do jogo são diferenciados pelas características de movimentação da barra e da bolinha, de acordo com a tabela a seguir.

| Níveis | Objetivo | Movimentação da barra | Nível de velocidade da bolinha* |
|-------------|---|---|---------------------------------|
| Treinamento | Adaptação aos movimentos do jogo | De acordo com um limiar de amplitude do sinal EMG | Normal |
| Nível 1 | Rebater a bolinha com a barra podendo deixar a bolinha "cair" | De acordo com um limiar de amplitude do sinal EMG | Normal |
| Nível 2 | Rebater a bolinha com a barra sem deixar a bolinha "cair" | De acordo com um limiar de amplitude do sinal EMG | Difícil |
| Nível 3 | Rebater a bolinha com a barra sem deixar a bolinha "cair" | Conforme amplitude do sinal EMG emitida | Normal |
| Nível 4 | Rebater a bolinha com a barra sem deixar a bolinha "cair" | Conforme amplitude do sinal EMG emitida | Difícil |

*A velocidade da bolinha no nível difícil é 50% mais rápida.

Pontuação

A pontuação do jogo é quantidade de vezes que a bolinha foi rebatida.

Música e Efeitos Especiais

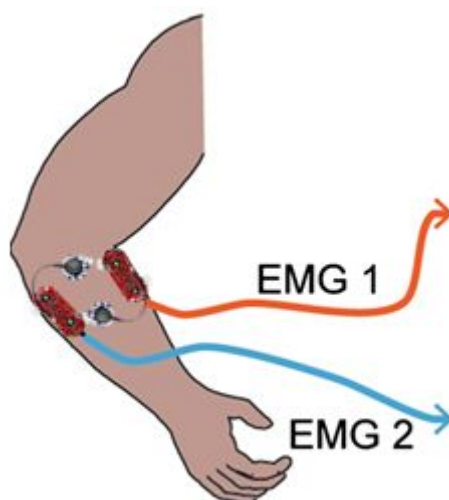
Foram acrescentados efeitos sonoros ao detectar uma colisão, ou seja, quando a bolinha é rebatida pela raquete ou pelas bordas, o jogo emite um som. Não foi adicionado música ao jogo.

Exigências de Tecnologia

- O Jogo foi desenvolvido com a *game engine* Unity;
- A linguagem de programação utilizada é o C#;
- O jogo possui um banco de dados MySQL;

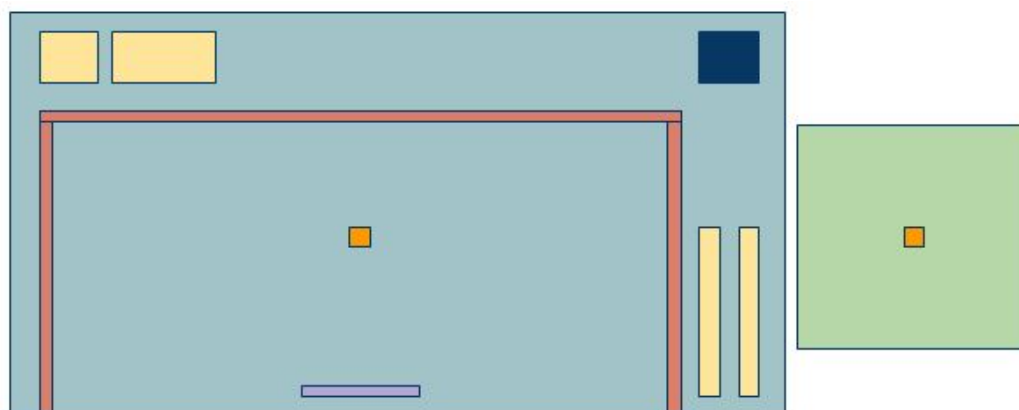
Controles do Jogo

O jogador interage com o jogo através de sensores de eletromiografia dispostos sobre o coto.



Sistema de HUD

Com o intuito de manter o foco da tela livre para que o jogador possa atentar-se ao jogo, os componentes da *Heads-Up Display*(HUD) foram dispostos nas extremidades.



- Vista do jogador
- Ponto menu flutuante
- Informação iterativa
- Botão
- Limiares de movimentação da raquete e da bolinha
- Raquete do jogador
- Menu flutuante

Mecânicas do Jogador

- Nova sessão de exercícios
- Cadastro de pacientes
- Relatórios

Cenas e Menus

O jogo foi dividido em cenas e menus, a fim de contemplar todos os requisitos.

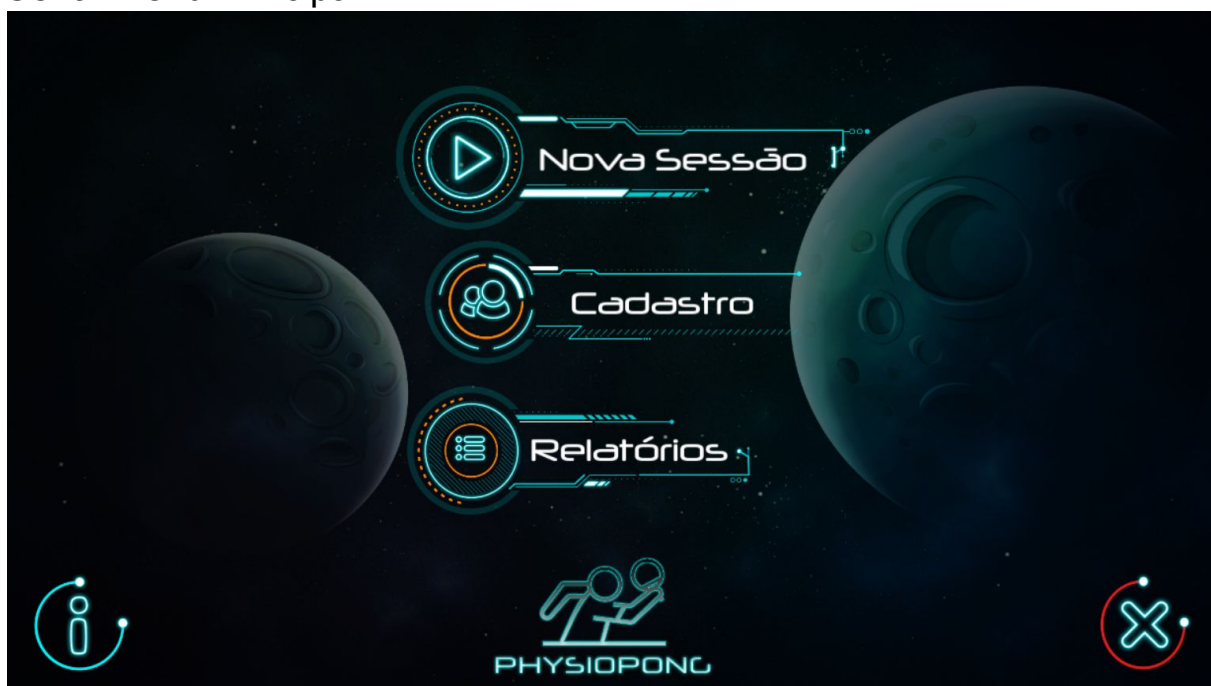
Cena: Apresentação Unity 1



Cena: Apresentação Unity 2



Cena: Menu Principal



Menu: Nova Sessão

Nova sessão

Paciente: Seleccione o paciente

Fisioterapeuta: João Silva

Freq. cardíaca: 80

Pressão arterial: 12 por 8

Músculo(sensor 1): Bíceps

Músculo(sensor 2): Tríceps

Menu: Níveis

Níveis

1 2

3 4

T

Menu: Cadastro 1

The screenshot shows a futuristic registration menu titled "Cadastro" on a dark background with planet-like graphics. The form contains the following fields:

| | |
|----------------------|-----------------|
| Nome: | Marcos Vieira |
| Idade: | 45 |
| Sexo: | Masculino |
| Escolaridade: | Ensino superior |
| Contato: | (99)999999999 |

Navigation icons: a red back arrow in the bottom-left and a green forward arrow in the bottom-right.

Menu: Cadastro 2

The screenshot shows the second part of the registration menu, titled "Cadastro". The form contains the following fields:

| | |
|----------------------------|----------------------|
| Peso: | 80 |
| Altura: | 1,85 |
| Nível Amputação: | Transradial esquerda |
| Outras Informações: | Diabético |

Navigation icons: a red back arrow in the bottom-left and a green checkmark in the bottom-right.

Menu: Relatório Dados do Paciente 1



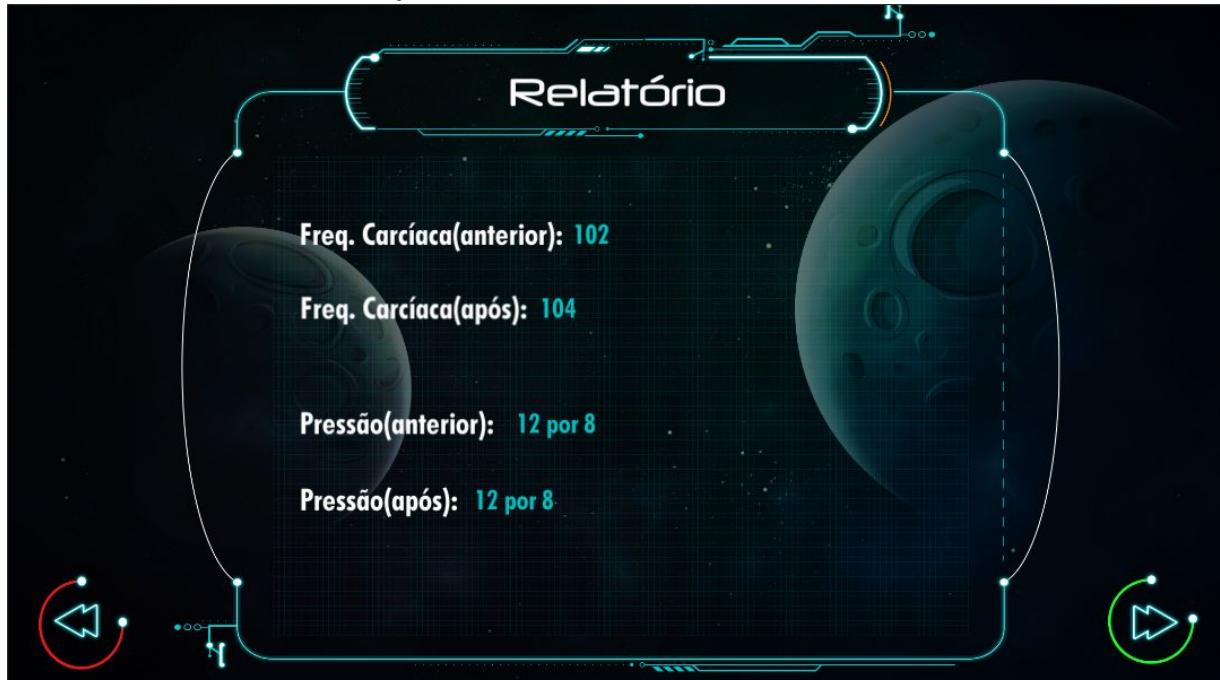
Menu: Relatório Dados do Paciente 2



Menu: Relatório Dados por Sessão 1



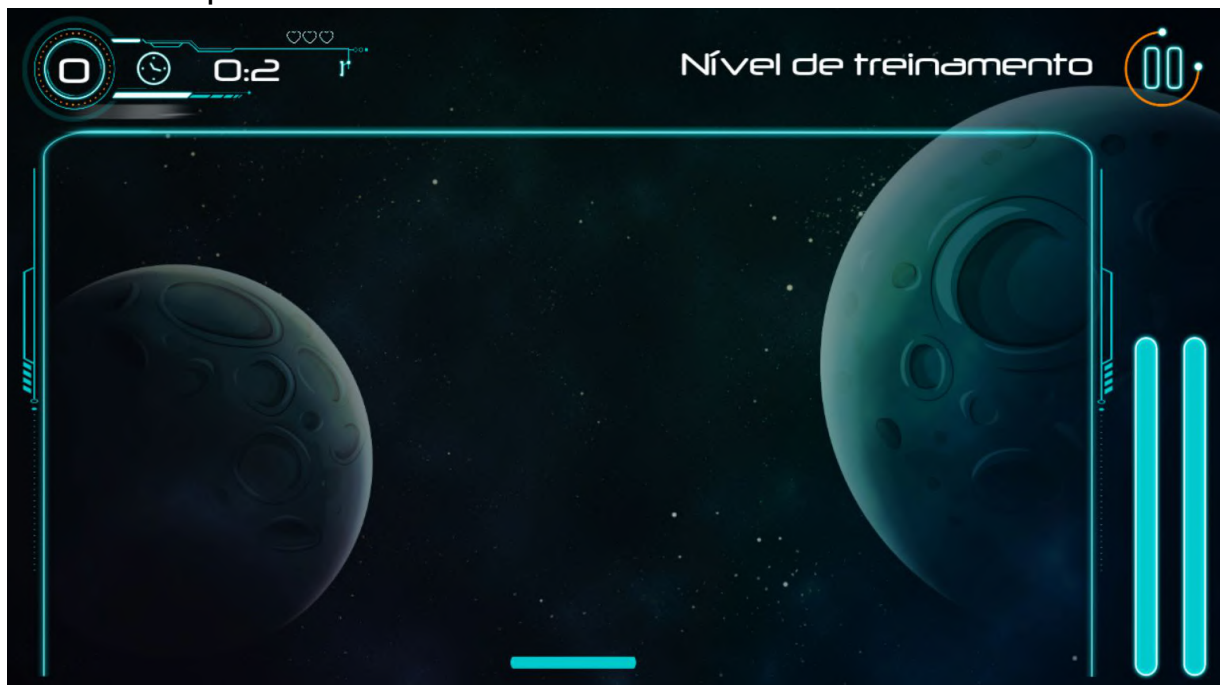
Menu: Relatório Dados por Sessão 2



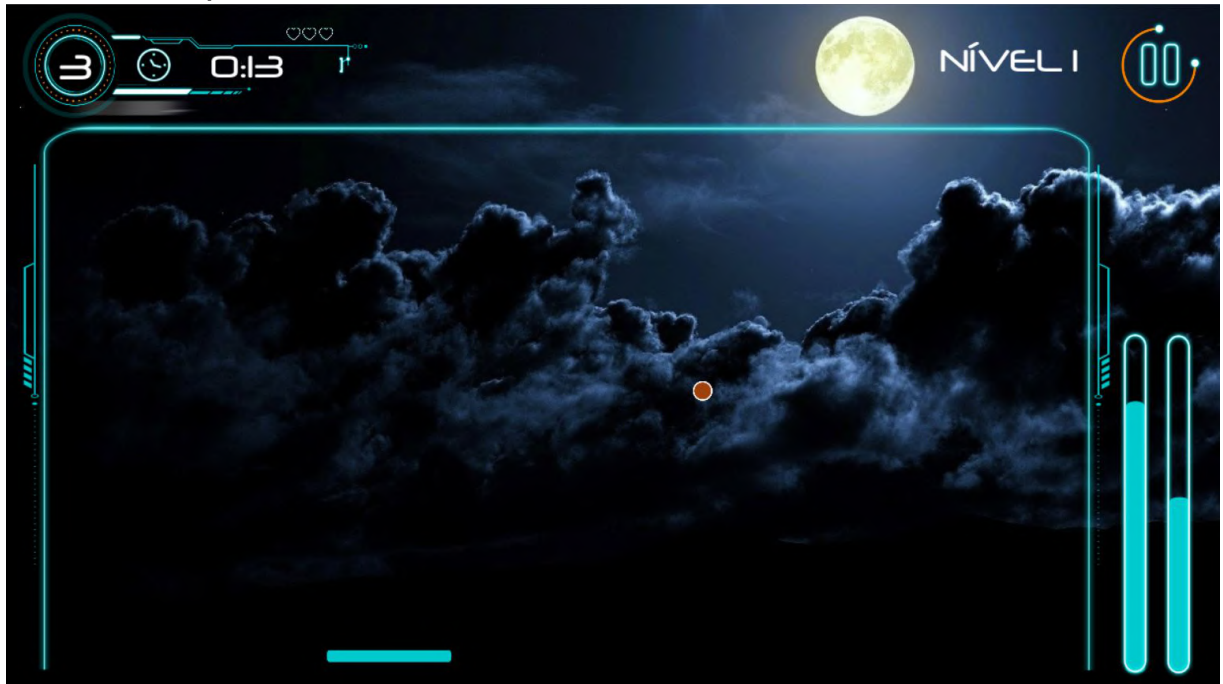
Menu: Relatório Dados por Nível



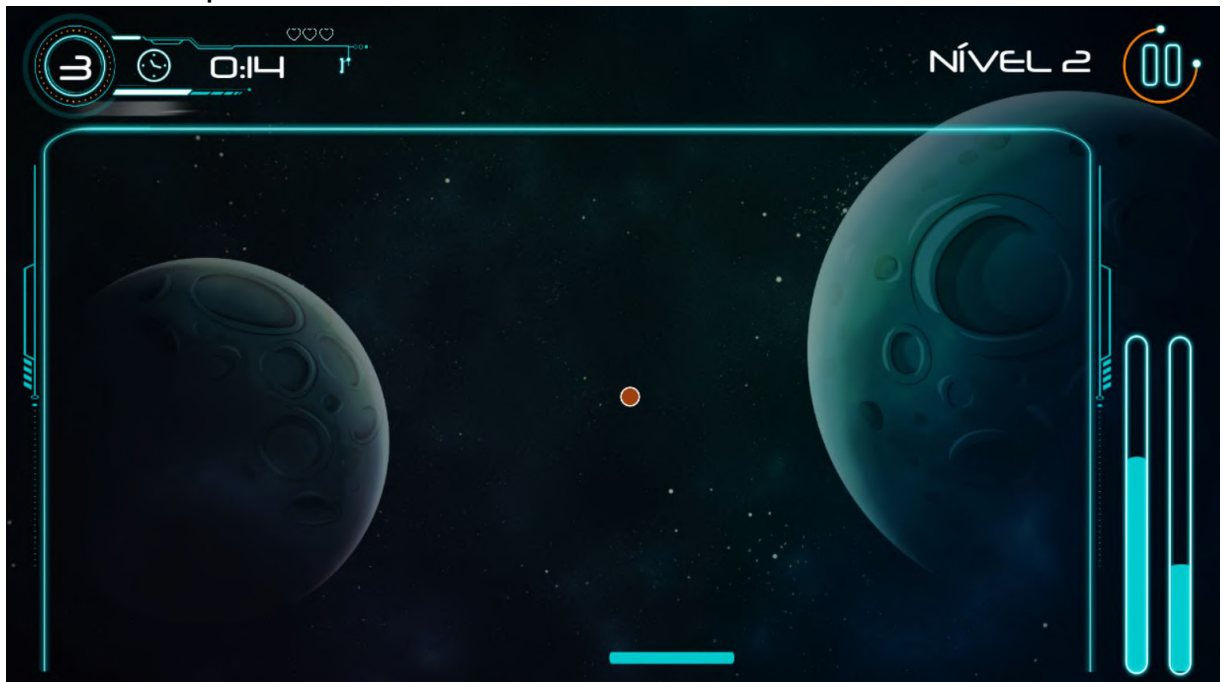
Cena: Principal Nível de Treinamento



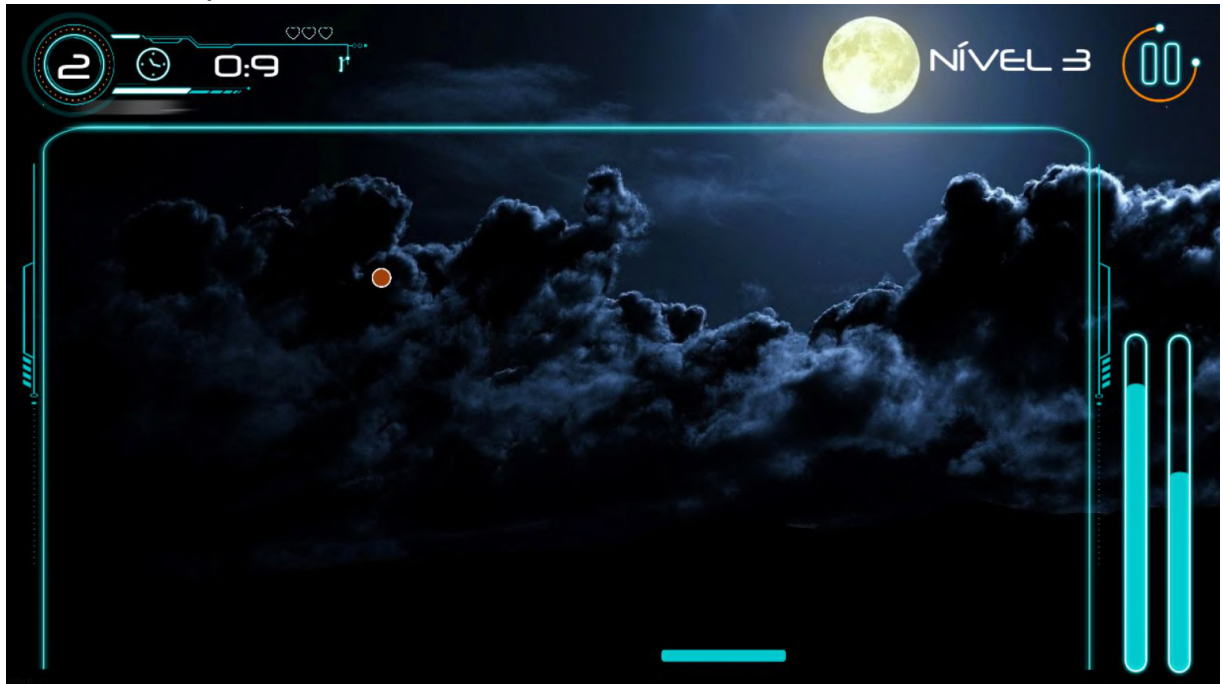
Cena: Principal Nível 1



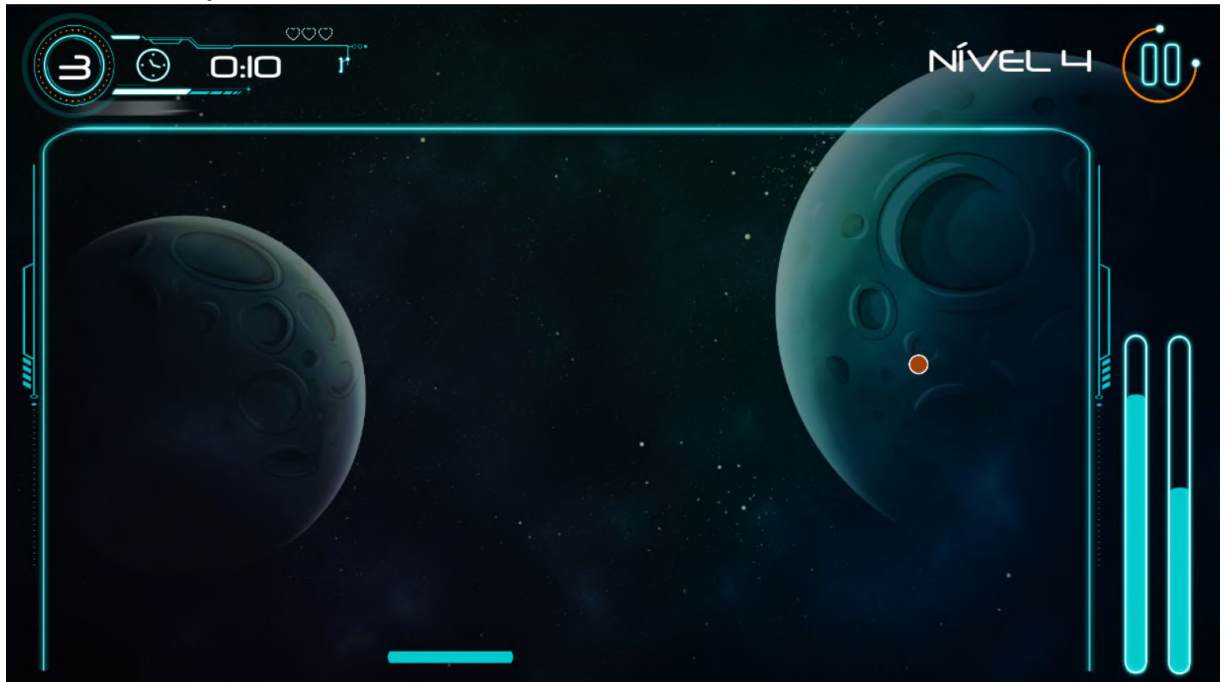
Cena: Principal Nível 2



Cena: Principal Nível 3



Cena: Principal Nível 4



Menu: Pause



Menu: Fim de Jogo

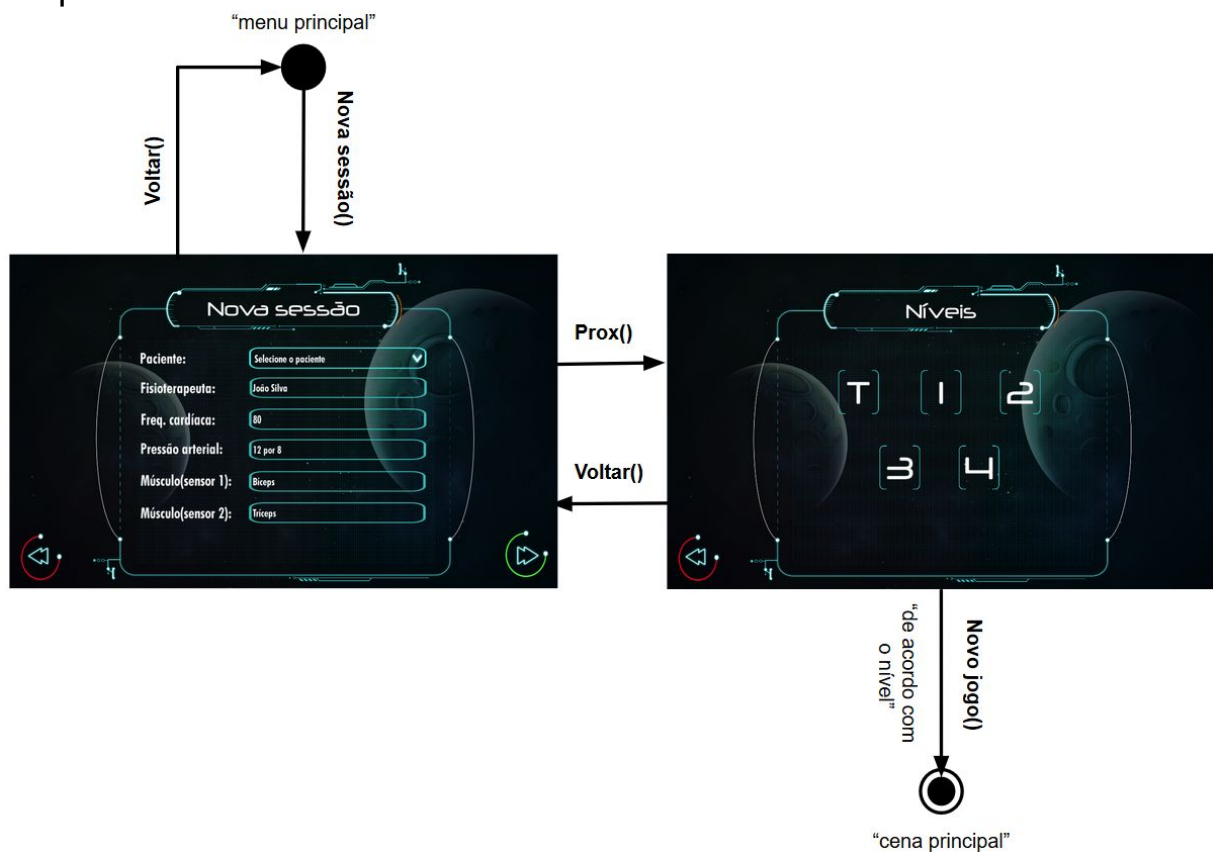


Menu: Dados Fim de Sessão

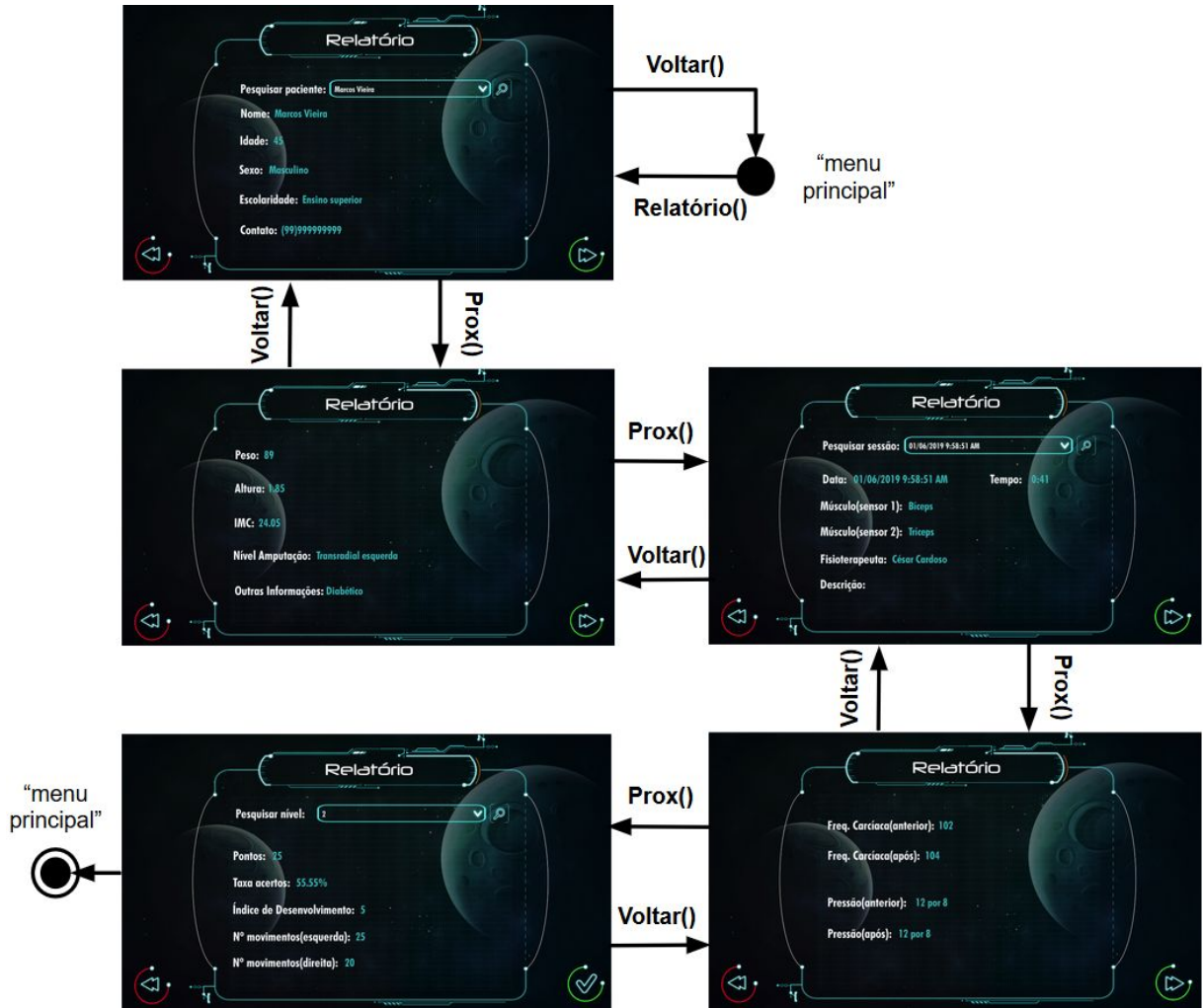


Fluxo de Jogo

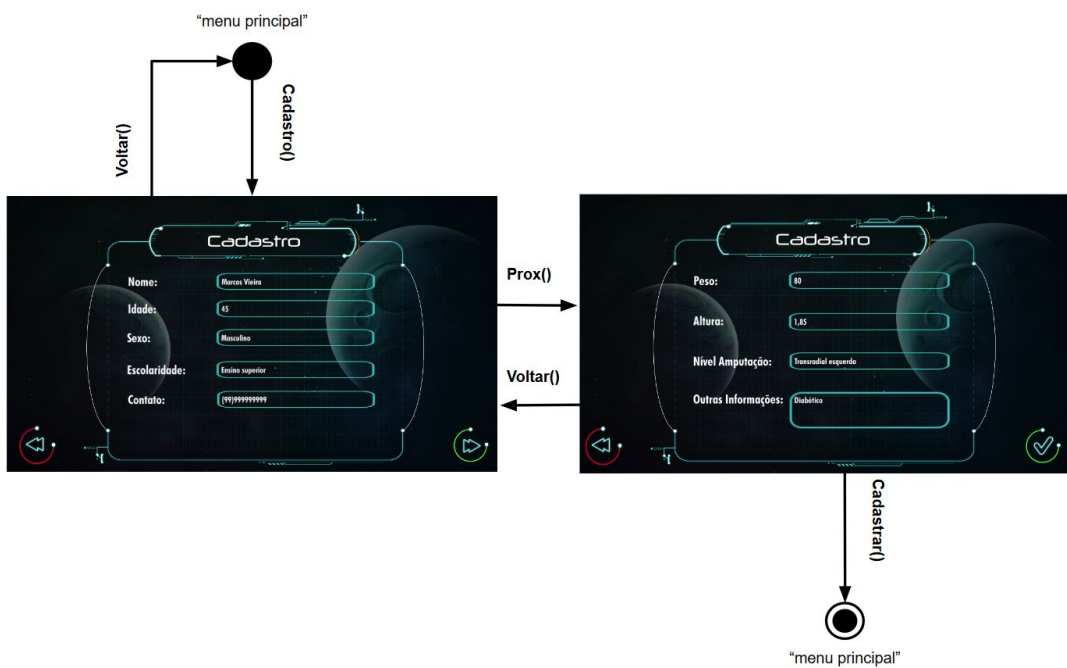
Sequência de menus de uma nova sessão



Seqüência de menus de relat6rios



Seqüência de menus de cadastro



APÊNDICE C – PLAYTEST DE AVALIAÇÃO - VOLUNTÁRIOS

Playtest de Avaliação do Jogo Sérió PhysioPong

- Voluntários -

Este questionário tem como objetivo avaliar o Jogo Sérió PhysioPong de acordo com os quesitos de jogabilidade, mecânica e usabilidade. Suas respostas são importantes para a pesquisa e irão nos ajudar a melhorar o projeto. Todos os dados são coletados anonimamente e somente serão utilizados no contexto desta pesquisa.

Data: / / .

Marque apenas 1 (um) espaço em branco para cada questão.

Jogabilidade

1. O jogo fornece objetivos bem definidos?

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

2. O jogador se sente em controle do jogo?

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

3. O desafio e progresso são equilibrados?

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

4. A primeira experiência foi animadora?

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

Mecânica

5. A mecânica do jogo é consistente durante o jogo?

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

6. Os controles são fáceis de aprender?

| | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | |

7. O sistema de controle do jogo (sensores) são confortáveis?

| | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | |

8. Os movimentos no jogo são executados de forma precisa?

| | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | |

Usabilidade

9. A interface do usuário é familiar?

| | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | |

10. As informações na tela estão dispostas de maneira agradável?

| | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | |

11. Os menus e e botões estão visualmente agradáveis e integrados com o jogo?

| | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | |

12. O retorno de desempenho na navegação pelo jogo é adequado?

| | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | |

Comentários/Observações:

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO - FISIOTERAPEUTAS

Questionário de Avaliação do Jogo Sériio PhysioPong

- Fisioterapeutas -

Este questionário tem como objetivo avaliar o Jogo Sériio PhysioPong de acordo com os quesitos de usabilidade, funcionalidade, eficiência e experiência de uso do jogo. Suas respostas são importantes para a pesquisa e irão nos ajudar a melhorar o projeto. Todos os dados são coletados anonimamente e somente serão utilizados no contexto desta pesquisa.

Data: / / .

Marque apenas 1 (um) espaço em branco para cada questão.

-
1. O funcionamento do jogo é de fácil compreensão?

| | | | | | | |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Confuso | | | | | | Compreensível |

2. As informações na tela estão dispostas de maneira agradável?

| | | | | | | |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Desagradável | | | | | | Agradável |

3. Considerando o contexto em que é proposto, qual o nível de dificuldade do jogo?

| | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Fácil | | | | | | Difícil |

4. Qual o tempo de resposta do jogo aos movimentos?

| | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Lento | | | | | | Rápido |

5. Os movimentos no jogo são executados de forma precisa?

| | | | | | | |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Imprecisos | | | | | | Precisos |

6. O jogo satisfaz a proposta do projeto?

| | | | | | | |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Não satisfaz | | | | | | Satisfaz |

7. Para o melhor acompanhamento do tratamento de pacientes, que informações poderiam ser apresentadas no decorrer do jogo?

8. Descreva textualmente a sua opinião sobre o sistema e os seus possíveis benefícios.

Comentários/Observações:

APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO - PACIENTES

Questionário de Avaliação do Jogo Sériio PhysioPong

- Pacientes -

Este questionário tem como objetivo avaliar o Jogo Sériio PhysioPong de acordo com os quesitos de usabilidade, funcionalidade, eficiência e experiência de uso do jogo. Suas respostas são importantes para a pesquisa e irão nos ajudar a melhorar o projeto. Todos os dados são coletados anonimamente e somente serão utilizados no contexto desta pesquisa.

Data: / / .

Marque apenas 1 (um) espaço em branco para cada questão.

-
1. O funcionamento do jogo é de fácil compreensão?

| | | | | | | |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Confuso | | | | | | Compreensível |

2. As informações na tela estão dispostas de maneira agradável?

| | | | | | | |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Desagradável | | | | | | Agradável |

3. Qual o nível de dificuldade do jogo?

| | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Fácil | | | | | | Difícil |

4. Qual o tempo de resposta do jogo aos movimentos?

| | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Lento | | | | | | Rápido |

5. Os movimentos no jogo são executados de forma precisa?

| | | | | | | |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Imprecisos | | | | | | Precisos |

6. Como você classifica o sistema de controle do jogo?

| | | | | | | |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Desconfortável | | | | | | Confortável |

7. De forma geral, você gostou do jogo?

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|------------|---|---|---|---|---|--------|
| Não gostei | | | | | | Gostei |

8. Como foi sua experiência com o jogo?

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---------|---|---|---|---|---|------------|
| Tediosa | | | | | | Motivadora |

Comentários/Observações:
