

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**



**Uma arquitetura baseada em técnicas de Realidade
Misturada para o treinamento do uso de próteses
acionadas por tirantes para indivíduos com amputação de
membros superiores.**

Diogo Aparecido Cavalcante de Lima

**Uberlândia - MG
2019**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Uma arquitetura baseada em técnicas de Realidade Misturada para o treinamento do uso de próteses acionadas por tirantes para indivíduos com amputação de membros superiores.

Diogo Aparecido Cavalcante de Lima

Texto apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, perante a banca de examinadores abaixo, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Banca Examinadora:

Prof. Edgard Afonso Lamounier Jr, PhD – Orientador (UFU)

Prof. Alexandre Cardoso, Dr. – Coorientador (UFU)

Prof. Luciano Pereira Soares, Dr. – Banca Externa (INSPER)

Prof. Alcimar Barbosa Soares, PhD – Banca Interna (UFU)

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

L732 Lima, Diogo Aparecido Cavalcante de, 1985-
2019 Uma arquitetura baseada em técnicas de Realidade Misturada para o treinamento do uso de próteses acionadas por tirantes para indivíduos com amputação de membros superiores [recurso eletrônico] / Diogo Aparecido Cavalcante de Lima. - 2019.

Orientador: Edgard Afonso Lamounier Jr.
Coorientador: Alexandre Cardoso.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Engenharia Elétrica.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2312>
Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica. I. Afonso Lamounier Jr, Edgard, 1964-,
(Orient.). II. Cardoso, Alexandre, 1964-, (Coorient.). III.
Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em
Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDU: 621.3

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

**Uma arquitetura baseada em técnicas de Realidade Misturada para
o treinamento do uso de próteses acionadas por tirantes para
indivíduos com amputação de membros superiores.**

Diogo Aparecido Cavalcante de Lima

Texto apresentado à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Prof. Edgard A. Lamounier Jr, PhD.

Orientador

Prof. Alexandre Cardoso, Dr.

Coorientador

Prof. Jose Roberto Camacho, Dr.

Coordenador do curso de Pós-Graduação



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 3N - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 3239-4707 - www.posgrad.feelt.ufu.br - copel@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

| | | | | | |
|------------------------------------|---|-----------------|-------|-----------------------|-------|
| Programa de Pós Graduação em: | Engenharia Elétrica | | | | |
| Defesa de: | Dissertação de Mestrado Acadêmico, 719, COPEL | | | | |
| Data: | 27/08/2019 | Hora de início: | 13:30 | Hora de encerramento: | 16:30 |
| Matrícula do Discente: | 11622EEL004 | | | | |
| Nome do Discente: | Diogo Aparecido Cavalcante de Lima | | | | |
| Título do Trabalho: | Uma arquitetura baseada em técnicas de Realidade Misturada para o treinamento do uso de próteses acionadas por meio de tirantes para indivíduos com amputação de membros superiores. | | | | |
| Área de concentração: | Processamento da informação | | | | |
| Linha de pesquisa: | Computação gráfica | | | | |
| Projeto de Pesquisa de vinculação: | Título: MODELAGEM E MANUFATURA 3D DE PRÓTESES DE MEMBROS SUPERIORES BASEADA EM TÉCNICAS DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA Agência Financiadora: Autodesk Corporation Início 31/07/2016 Término 31/07/2019 No. do Projeto na agência: _____ Professor Coordenador: Edgard Afonso Lamounier Júnior | | | | |

Reuniu-se no Anfiteatro 1E, Campus Santa Mônica, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do **Programa de Pós-graduação** em Engenharia Elétrica, assim composta: Professores Doutores: Alexandre Cardoso - FEELT/UFU, Alcimar Barbosa Soares - FEELT/UFU; Luciano Pereira Soares - INSPER; Edgard Afonso Lamounier Júnior - FEELT/UFU, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Edgard Afonso Lamounier Júnior, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do **Programa**.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **Mestre**.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Cardoso, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/08/2019, às 14:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luciano Pereira Soares, Usuário Externo**, em 28/08/2019, às 16:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edgard Afonso Lamounier Junior, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/08/2019, às 16:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alcimar Barbosa Soares, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/08/2019, às 16:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 1503636 e o código CRC 6D6FE4DE.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

*A minha mãe Elizabete por ter sempre me incentivado a estudar cada vez
mais e por me apoiar sempre.*

*Aos meus avós Francisco e Antônia que mesmo analfabetos me ensinaram a
importância da educação na vida.*

*A minha esposa Nayara pelo apoio, incentivo e principalmente compreensão
que teve durante essa jornada/desafio.*

*Aos meus irmãos Thiago e Laís pela confiança e companheirismo em todos
os momentos da minha vida.*

*A minha família, pois foi com ela que aprendi o valor da minha fé e da razão,
e por me incentivarem mesmo em momentos muitos difíceis durante minha vida.*

Aos meus amigos do Lab-CG UFU, por toda ajuda durante este período.

*Ao meu orientador Edgard Afonso Lamounier Jr por sua sabedoria e
coerência durante as orientações.*

*Ao meu coorientador Alexandre Cardoso, por toda ajuda, confiança e por me
mostrar sempre o caminho correto a se seguir.*

*Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Uberlândia, em especial os professores e secretaria, pelo suporte
prestado.*

Obrigado!

FINANCIADORES

Este trabalho foi financiado pela Agência Autodesk Corporation, pois é vinculado ao projeto de pesquisa Modelagem e Manufatura 3D de Próteses de Membros Superiores Baseada em Técnicas de Realidade Virtual e Aumentada, coordenado pelo professor Edgard Afonso Lamounier Jr.

Resumo

Lima, Diogo A. C. **Uma arquitetura baseada em técnicas de Realidade Misturada para o treinamento do uso de próteses acionadas por tirantes para indivíduos com amputação de membros superiores.**, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU, 2019.

Palavras-chave: Realidade Misturada, Treinamento para amputados, Próteses de membros superiores.

A amputação de um membro superior é um processo traumático onde o amputado precisa iniciar imediatamente o processo de reabilitação, a fim de recuperar a independência física. O acesso a uma prótese pode proporcionar qualidade de vida. Entretanto, tradicionalmente os períodos de reabilitação podem levar até 12 meses devido à dificuldade de utilização da prótese. Normalmente, no decorrer do tratamento os usuários ficam frustrados, devido à demora do processo de treinamento e ao estado emocional provocado pela amputação recente. Adicionalmente, algumas iniciativas de treinamento de amputados por meio de Realidade Virtual (RV) e Jogos Sérios têm aparecido na literatura. Porém, estudos mostram que ambientes de treinamento que utilizam Realidade Misturada (RM) associados aos jogos sérios, podem proporcionar uma experiência mais realista e envolvente para seus usuários. Diante dos fatos apresentados, esta dissertação propõe o desenvolvimento de uma arquitetura onde são utilizadas técnicas de RM associadas a um sistema embarcado, com o objetivo de permitir o treinamento de pessoas que farão o uso de próteses com acionamento de tirantes nos membros superiores. Para sua validação foram utilizados testes de funcionamento do sistema e aplicados questionários de usabilidade junto a profissionais da área de reabilitação. Ao final, percebeu-se que a arquitetura proposta e implementada foi satisfatória para realizar as atividades sugeridas no ambiente de treinamento misturado.

Abstract

Lima, Diogo A. C.; **A proposed Mixed-Reality-based training system for people with upper limb amputation**, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU, 2019.

Keywords: Mixed Reality, amputees Training, Upper Limb Prosthetics

Upper limb amputation is a traumatic process where the amputee needs to immediately begin the rehabilitation process in order to regain physical independence. Access to a prosthesis can provide quality of life. However, traditionally rehabilitation periods may take up to 12 months due to the difficulty of using the prosthesis. Usually, during treatment, users are frustrated due to the delayed training process and the emotional state caused by the recent amputation. Additionally, some amputees training initiatives through Virtual Reality (VR) and Serious Games have appeared in the literature. However, studies show that training environments that use Mixed Reality (MR) associated with serious games can provide a more realistic and engaging experience for its users. Given the facts presented, this dissertation proposes the development of an architecture in which MR techniques associated with an embedded system are used, in order to enable the training of people who will use the use of upper limb prostheses. For its validation, system functioning tests were used, and usability questionnaires were applied to rehabilitation professionals. In the end, it was realized that the proposed and implemented architecture was satisfactory to perform the suggested activities in the mixed training environment.

Publicações

São publicações resultantes deste trabalho:

1. Lima, D.A.C; Cavalcante, R.C; Cyrino, G.F; Mattioli L.R; Lamounier Jr E.A; Cardoso, A; Lima, G.F.M. **Sistema Holográfico Aumentado para Treinamento de Amputados de Membros Superiores**. In: 20th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR), 2018, Foz do Iguaçu. Anais do 20th Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2018.

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1. Introdução..... | 1 |
| 1.1 Contextualização e Motivação | 1 |
| 1.2 Objetivo Geral | 4 |
| 1.2.1 Objetivos Específicos | 4 |
| 1.3 Organização da Dissertação | 5 |
| 2. Fundamentação Teórica | 6 |
| 2.1 Introdução | 6 |
| 2.2 Amputações | 6 |
| 2.3 Tipos de Próteses | 9 |
| 2.3.1 Próteses Estéticas..... | 9 |
| 2.3.2 Próteses Funcionais..... | 10 |
| 2.4 Realidade Virtual | 12 |
| 2.5 Realidade Aumentada..... | 14 |
| 2.5.1 Definições | 14 |
| 2.5.2 Rastreamento..... | 16 |
| 2.5.3 Tipos de realidade aumentada | 19 |
| 2.6 Realidade Misturada | 20 |
| 2.7 Jogos Sérios | 24 |
| 2.8 Considerações Finais..... | 26 |
| 3. Trabalhos Correlatos | 27 |
| 3.1 Introdução | 27 |
| 3.2 Treinamento com Realidade Virtual | 27 |
| 3.2.1 Virtual Myoelectric Prosthesis | 27 |
| 3.2.2 DEKA ARM | 29 |
| 3.2.3 Virtual Prosthesis | 30 |
| 3.2.4 Considerações sobre o Treinamento com Realidade Virtual | 32 |
| 3.3 Treinamento com Realidade Misturada..... | 33 |
| 3.3.1 <i>System</i> TAC | 33 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.3.2 | ARM <i>Trainer</i> | 35 |
| 3.3.3 | HoloPHAM | 36 |
| 3.3.4 | AR_ Rehabilitation..... | 38 |
| 3.3.5 | AR_Rehab..... | 39 |
| 3.4 | Estudo comparativo dos trabalhos relacionados | 41 |
| 3.5 | Considerações finais | 43 |
| 4. | Arquitetura do Sistema | 44 |
| 4.1 | Introdução | 44 |
| 4.2 | Arquitetura Física da Aplicação..... | 44 |
| 4.3 | Arquitetura do Sistema | 46 |
| 4.4 | Módulo de Aquisição de Abertura e Fechamento da Prótese Virtual ... | 47 |
| 4.5 | Especificação de Requisitos | 49 |
| 4.5.1 | Requisitos Funcionais | 49 |
| 4.5.2 | Requisitos Não Funcionais..... | 50 |
| 4.6 | Diagrama de Caso de Uso | 51 |
| 4.6.1 | Descrição do Ator..... | 52 |
| 4.6.2 | Descrição do Caso de Uso..... | 52 |
| 4.7 | Diagrama de Classe..... | 55 |
| 4.8 | Diagrama de Atividade | 57 |
| 4.9 | Considerações Finais..... | 58 |
| 5. | Detalhes da Implementação | 59 |
| 5.1 | Introdução | 59 |
| 5.2 | Implementação do Sistema | 59 |
| 5.3 | Rastreamento do marcador fiducial..... | 62 |
| 5.4 | Funcionamento do Sistema..... | 64 |
| 5.5 | Utilização do Sistema MRProsthesis..... | 66 |
| 5.6 | Considerações Finais..... | 70 |
| 6. | Resultados e Discussão | 71 |
| 6.1 | Introdução | 71 |
| 6.2 | Métodos aplicados na pesquisa | 71 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 6.2.1 | Amostra da população | 72 |
| 6.2.2 | Questionário de teste de usabilidade | 72 |
| 6.2.3 | Questionário QUIS | 73 |
| 6.2.4 | Questionário SUS..... | 74 |
| 6.2.5 | Questionário PSSUQ | 74 |
| 6.2.6 | Escolha do questionário de usabilidade | 75 |
| 6.3 | Resultados e Discussão | 75 |
| 6.3.1 | Resultados da Amostra | 76 |
| 6.3.2 | Resultados da experimentações preliminares com terapeutas | 78 |
| 6.3.3 | Resultados de Usabilidade..... | 84 |
| 6.4 | Considerações Finais..... | 87 |
| 7. | Conclusões e Trabalhos Futuros..... | 88 |
| 7.1 | Introdução | 88 |
| 7.2 | Conclusões | 88 |
| 7.3 | Trabalhos Futuros | 90 |
| | Referências Bibliográficas | 91 |
| | Apêndice I..... | 100 |
| | Questionário para Avaliação do Perfil do Indivíduo | 100 |
| | Apêndice II | 101 |
| | Formulário de Atividades | 101 |
| | Anexo I | 102 |
| | Questionário de Avaliação de Usabilidade – PSSUQ..... | 102 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 - Níveis de Amputações Membros Superiores..... | 7 |
| FIGURA 2 - Prótese estética para desarticulado de ombro. | 9 |
| FIGURA 3 - Prótese funcional com acionamento mioelétrico..... | 10 |
| FIGURA 4 - Prótese funcional com acionamento mecânico com coto e cotovelo..... | 11 |
| FIGURA 5 - Prótese Body-Powered..... | 11 |
| FIGURA 6 - Prótese funcional com acionamento mecânico. | 12 |
| FIGURA 7 - Ambiente virtual de treinamento. | 13 |
| FIGURA 8 - Aplicação utilizado Realidade Aumentada..... | 14 |
| FIGURA 9 - Arquitetura de um Sistema de Realidade Aumentada. | 15 |
| FIGURA 10 - Rastreamento por meio de múltiplos pontos. | 16 |
| FIGURA 11 - Rastreamento de marcador utilizado a API Vuforia. | 18 |
| FIGURA 12 - Realidade Aumentada Imersiva..... | 19 |
| FIGURA 13 - Realidade Aumentada Semi Imersiva..... | 20 |
| FIGURA 14 - Contínuo Real-Virtual, Milgram et al. (1994). Adaptado do original por Tori (2018)..... | 21 |
| FIGURA 15 - Realidade Misturada..... | 22 |
| FIGURA 16 - Ambiente de Manutenção em Realidade Misturada. | 23 |
| FIGURA 17 - Diferenciação de RV, RA e MR. | 23 |
| FIGURA 18 - Jogo Séri CareMe® para treinamento de profissionais de saúde..... | 25 |
| FIGURA 19 - Jogo Séri para reabilitação de AVC..... | 26 |
| FIGURA 20 - Virtual Myoelectric Prosthesis..... | 28 |
| FIGURA 21 - Interface DEKA ARM. | 29 |
| FIGURA 22 - Amputado utilizando a prótese para tocar guitarra. | 30 |
| FIGURA 23 - Interface Virtual Prosthesis..... | 31 |
| FIGURA 24 - Cena Inicial Virtual Prosthesis. | 31 |
| FIGURA 25 - Arquitetura Física do System TAC..... | 33 |
| FIGURA 26 - Interface System TAC..... | 34 |
| FIGURA 27 - Interface ARM Trainer. | 35 |
| FIGURA 28 - Interface do sistema HoloPHAM..... | 37 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 29 - Arquitetura AR_ Rehabilitation..... | 38 |
| FIGURA 30 - Interface AR_ Rehabilitation. | 39 |
| FIGURA 31 - Interface RV x Interface RM. | 40 |
| FIGURA 32 - Arquitetura Física com Vuzix® 1200..... | 45 |
| FIGURA 33 - Campo de Visão com Vuzix® 1200 | 45 |
| FIGURA 34 - Arquitetura Física com Hololens™..... | 45 |
| FIGURA 35 - Campo de Visão com Hololens™ | 45 |
| FIGURA 36 - Arquitetura Física com monitor | 45 |
| FIGURA 37 - Campo de Visão com Monitor..... | 45 |
| FIGURA 38 - Arquitetura da Aplicação..... | 46 |
| FIGURA 39 - Dispositivo auxiliar. | 47 |
| FIGURA 40 - Circuito do dispositivo auxiliar..... | 48 |
| FIGURA 41 - Dispositivo auxiliar preso ao braço. | 49 |
| FIGURA 42 - Diagrama de Caso de Uso. | 51 |
| FIGURA 43 - Diagrama de Classe. | 56 |
| FIGURA 44 - Diagrama de Atividades..... | 58 |
| FIGURA 45 - Modelo virtual da prótese | 60 |
| FIGURA 46 - Marcador Cilíndrico..... | 60 |
| FIGURA 47 - Usuário com o tirante 21A36=1 Ottobock..... | 61 |
| FIGURA 48 - Usuário com o tirante 21A36=1 Ottobock®..... | 61 |
| FIGURA 49 - Fluxo de Rastreamento Vuforia | 62 |
| FIGURA 50 - Marcador Original. | 63 |
| FIGURA 51 - Pontos rastreados no marcador..... | 63 |
| FIGURA 52 - Prótese Virtual sobre o marcador fiducial. | 65 |
| FIGURA 53 - Manipulação de objetos utilizando o Vuzix | 65 |
| FIGURA 54 - Prótese Virtual Fechada | 66 |
| FIGURA 55 - Prótese Virtual sobre o braço. | 67 |
| FIGURA 56 - Início do treinamento. | 67 |
| FIGURA 57 - Interface do Sistema..... | 68 |
| FIGURA 58 - Usuário pegando a objeto..... | 68 |
| FIGURA 59 - Ponto de Destino no Objeto..... | 69 |
| FIGURA 60 - Erro de manuseio. | 69 |
| FIGURA 61 - Tela Final..... | 70 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 62 - Experiência com Uso de Tecnologia. | 76 |
| FIGURA 63 - Usuários que conhecem realidade aumentada..... | 77 |
| FIGURA 64 - Usuários que conhecem Realidade Misturada. | 77 |
| FIGURA 65 - Amostragem de profissionais que utilizaram tecnologia. | 78 |
| FIGURA 66 - Tempo Médio Tarefa 01. | 79 |
| FIGURA 67 - Tempo Médio Tarefa 02. | 80 |
| FIGURA 68 - Tempo Médio Tarefa 03. | 80 |
| FIGURA 69 - Número de Erros na Tarefa 03. | 81 |
| FIGURA 70 - Tempo Médio Tarefa 04. | 82 |
| FIGURA 71 - Tempo Médio Tarefa 05. | 83 |
| FIGURA 72 - Avaliação de utilidade do sistema..... | 85 |
| FIGURA 73 - Avaliação qualidade da informação..... | 85 |
| FIGURA 74 - Avaliação de qualidade da interface..... | 86 |
| FIGURA 75 - Satisfação geral do sistema..... | 86 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| TABELA 1 - Frequência de procedimentos de amputação no SUS por causas em 2011. | 6 |
| TABELA 2 - Comparação entre os trabalhos relacionados. | 42 |
| TABELA 3 - Requisitos Funcionais | 50 |
| TABELA 4 - Requisitos Não Funcionais | 50 |
| TABELA 5 - Ator do Sistema | 52 |
| TABELA 6 - Descrição Caso de Uso Calibrar Sensor | 52 |
| TABELA 7 - Descrição Caso de Uso Localizar Marcador | 53 |
| TABELA 8 - Descrição Caso de Iniciar Jogo | 53 |
| TABELA 9 - Descrição Caso Manipular Objetos | 54 |
| TABELA 10 - Descrição Caso de Uso Receber Pontuação | 54 |
| TABELA 11 - Descrição Caso de Uso Acertos | 54 |
| TABELA 12 - Descrição Caso de Uso Erros | 55 |
| TABELA 13 - Descrição Caso de Uso Fechar Sistema | 55 |
| TABELA 14 - Questionários mais utilizados | 73 |

Lista de Abreviaturas

| | |
|------|---|
| RA | Realidade Aumentada |
| RV | Realidade Virtual |
| RM | Realidade Misturada |
| AR | Augmented Reality |
| VR | Virtual Reality |
| MR | Mixed Reality |
| AVs | Ambientes Virtuais |
| SUS | Sistema Único de Saúde |
| API | Interface de Programação de Aplicativos |
| HMD | Head Mounted Display |
| IEEE | Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos |
| ACM | Archive of Original Research |
| EMG | Sinal eletromiográfico |
| DAQ | Aquisição de dados |
| UDP | User Datagram Protocol |
| IMU | Unidade de medição inercial |
| 2D | Bidimensional |
| 3D | Tridimensional |
| GPS | Sistema de Posicionamento Global |
| SDK | Software Development Kit |
| UML | Unified Modeling Language |
| AVC | Acidente Vascular Cerebral |
| MLP | Multi Layer Perceptron |

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização e Motivação

Aproximadamente, 10 milhões de pessoas vivem com uma perda de membros em todo o mundo, e desses, cerca de 30% se refere a um membro amputado da extremidade superior (LEBLANC, 2008 apud KNIGHT, 2017).

Após a amputação, é importante que o amputado aceite seu novo estado corporal e comece o processo de reabilitação, a fim de recuperar independência física e qualidade de vida (DORNELAS, 2010).

Segundo Pastre (2011), é importante existir um processo de treinamento na reabilitação do usuário para:

- Acelerar o retorno às atividades diárias;
- Aumentar força muscular dos membros;
- Melhorar a coordenação motora do amputado.

Desde o momento da amputação até o primeiro encaixe da prótese, um amputado tem que esperar por uma média de 165 dias, sem treinamento funcional com prótese durante esse tempo (PEZZIN et al., 2004 apud SHARMA et al. 2018). Isto acontece principalmente por dois fatores, são eles: recuperação do paciente após a cirurgia e o tempo para produção e ajuste da prótese para o paciente.

Além disso, o processo de reabilitação com treinamento usando diretamente a prótese real pode demorar de seis a doze meses, após a iniciação (OTTOBOCK, 2013). Com isso, o processo é árduo e cansativo levando muitas vezes à desistência por parte do amputado (DORNELAS, 2010).

Embora a tecnologia de próteses tenha melhorado em várias frentes nas últimas décadas, suas taxas de abandono ainda permanecem altas em cerca de 35%

(PEZZIN et al., 2004 apud SHARMA et al. 2018). Um fator determinante para o abandono é o longo tempo gerado por métodos tradicionais de tratamento (DIAS; SAMPAIO; TADDEO, 2019).

Em 2016, cerca de 50% das próteses de membros superiores vendidas no mercado eram próteses por acionamento de tirantes (VUJAKLIJA; FARINA; ASZMANN, 2016). Estas próteses necessitam de treinamentos, pois realizam movimentos considerados não naturais (CARVALHO, 2004).

Por outro lado, “o desenvolvimento tecnológico vem alterando diversas práticas na área de saúde, abrangendo atividades como diagnóstico, terapia, treinamento, gerenciamento e educação” (NUNES et al., 2011, p.245).

No contexto tecnológico para treinamento, uma solução que se destaca Ambientes Virtuais (AVs) (FERNANDES, et al, 2016). Os AVs, podem ser incrementais e customizados, possibilitam treinamentos de acordo com a necessidade do usuário e não se desgastam com o tempo de uso (NUNES et al., 2018). Além disto, sua utilização possibilita motivar o usuário a realizar treinamentos de maneira interativa e lúdica, tornando mais fácil a adaptação ao uso da prótese. Dentre os ambientes virtuais destacam-se a Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA), e Realidade Misturada (RM).

Para um melhor entendimento Tokareva (2018), diferencia RV, RA e RM afirmando que:

- RV mergulha os usuários em um ambiente digital totalmente artificial;
- RA sobrepõe objetos virtuais no ambiente do mundo real;
- RM não apenas se sobrepõe, mas ancora objetos virtuais no mundo real.

Embora haja muito potencial na RV, principalmente devido a imersão proporcionada, existem problemas que podem limitar o uso de sua aplicação. Como por exemplo os efeitos coletários durante e após a exposição ao ambiente de Realidade Virtual ou a falta de sensação de presença do mundo real (DORES, et al., 2012).

Mais recentemente, aplicações baseadas em Realidade Misturada (RM) começam a se destacar, pois oferecem maior senso de realidade em relação a ambientes de RV. No contexto de treinamento de usuário de próteses, esses ambientes misturados podem colocar uma prótese virtual no coto real de amputado,

aumentado sua sensação de posse da prótese (LAMOUNIER et al., 2012 apud NISHINO et al., 2017).

Entretanto, aplicações de treinamento em RM ainda necessitam de muita pesquisa, pois, não existem soluções universais para o rastreamento (LING, 2017), que é um requisito mais exigente, quando comparado com as aplicações de RA. De fato, para treinamento de usuários de próteses de membros superiores um rastreamento adequado possibilita uma simulação mais natural e intuitiva do controle de todos os graus de liberdade de uma prótese real (LAMOUNIER et al., 2012 apud NISHINO et al., 2017).

Outro fator determinante em processos de treinamento é o envolvimento do usuário com o ambiente. Para isto, pode-se utilizar como estratégia a associação com Jogos Sérios, devido ao seu caráter educacional ou reabilitador explícito como prioridade (CYRINO, 2019). Entretanto, até à escrita dessa dissertação, não foram encontrados trabalhos que sugerissem o uso de jogos sérios no processo de reabilitação de amputados por RM.

Diante dos pontos apresentados, nota-se que treinamentos tradicionais com prótese reais são muito demorados, pois o usuário espera muito tempo para receber sua prótese. Além disto, compreende-se que ambientes misturados tem potencialidade para atuar nessa lacuna de tempo deixado pelos métodos tradicionais. Entretanto, esta tecnologia ainda sofre pela falta de arquiteturas que contemplem o desenvolvimento de soluções. Isto acontece principalmente pela dificuldade de soluções que utilizem rastreamento em tempo real.

Como prova de conceito, está dissertação propõe um sistema de RM com atividades inspiradas em jogos sérios que possibilite o futuro usuário de prótese acionadas por meio de tirantes realizar as seguintes tarefas:

- Movimentar a prótese virtual de acordo com os graus de liberdade de seu braço;
- Abrir e fechar a mão ou gancho da prótese virtual;
- Treinar a utilização da prótese para movimentação de objetos.

Espera-se que os resultados desta dissertação possam contribuir, de alguma maneira, com as discussões atuais e futuras em torno do assunto realidade Misturada

como ferramenta de auxílio de treinamento para uso de próteses em pessoas com amputação de membros superiores.

1.2 Objetivo Geral

Diante desse contexto, esta dissertação tem como objetivo projetar e implementar uma arquitetura que, baseada na integração de técnicas de Realidade Misturada com jogos sérios, suporte ao desenvolvimento de um sistema de treinamento para auxiliar futuros usuários de próteses de membros superiores, acionadas por tirantes.

1.2.1 Objetivos Específicos

Para alcançar os resultados esperados os seguintes objetivos específicos foram determinados:

- Identificar os principais trabalhos relacionados com a proposta, visando o destaque da contribuição desta dissertação;
- Avaliar técnicas de rastreamento em ambientes de Realidade Misturada;
- Integrar uma estratégia de jogo sério com um ambiente de RM para fins do treinamento proposto;
- Implementar um sistema computacional que reflita os requisitos previstos para a arquitetura proposta;
- Realizar e apresentar um estudo acerca dos principais questionários de usabilidade disponíveis;
- Validar o funcionamento do sistema por meio de testes com formulário de tarefas;
- Avaliar a aceitação do sistema de Realidade Misturada desenvolvido junto a profissionais da área por meio da aplicação de questionários de usabilidade.

1.3 Organização da Dissertação

Além do presente capítulo introdutório, esta dissertação apresenta-se desenvolvida e documentada dentro da seguinte estrutura organizacional:

No Capítulo 2: Fundamentação Teórica, são apresentados os fundamentos teóricos dos principais temas que serão abordados ao longo desta dissertação. Além de proporcionar ao leitor os conceitos mais difundidos sobre os assuntos levantados.

No Capítulo 3: Trabalhos Correlatos apresenta-se o levantamento bibliográfico sobre trabalhos ligados ao tema pesquisado, chegando-se ao estado da arte necessário para o desenvolvimento da pesquisa.

No Capítulo 4: Arquitetura do Sistema, são apresentadas as definições do protótipo, e suas especificações de software e hardware, detalhando todo processo de implementação do sistema. Este sistema será denominado de MRProsthesis.

No Capítulo 5: Detalhes da Implementação, apresenta-se os detalhes da implementação do sistema MRProsthesis. Em seguida detalha-se todo o processo de funcionamento.

No Capítulo 6: Resultados e Discussões, apresenta-se os resultados da avaliação e dos métodos avaliativos aplicados no público alvo da pesquisa. Isto é possível por meio de uma análise gráfica dos resultados obtidos.

No Capítulo 7: Conclusões e Trabalhos Futuros, são apresentadas as considerações finais e as expectativas para os trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Introdução

Neste capítulo, são apresentados os fundamentos que nortearam o desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, são abordados temas sobre amputações e tipos de próteses existentes no mercado. Logo em seguida, apresenta-se definições de Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Realidade Misturada e Jogos Sérios.

2.2 Amputações

No Brasil, o termo amputação é utilizado para definir a retirada total ou parcial de um membro do corpo, sendo considerado um processo reconstrutivo de uma extremidade (CARVALHO 2003 apud CAVALCANTE et al., 2018). Dentre as maiores causas de amputações estão:

- Doenças: 76 por dia, ou seja, 27.800 por ano (MONTIEL, 2012);
- Acidentes de trabalho: 12 por dia, ou seja, 4.380 por ano (MACHADO, 2015);
- Acidentes de trânsito: 44 por dia, ou seja, 16.200 por ano (BRASIL, 2013).

Dados identificados pelo IBGE para censo de 2011 detalha a maioria das doenças que causam amputação no país, conforme Tabela 1:

TABELA 1 - Frequência de procedimentos de amputação no SUS por causas em 2011.

| Nº | Causas | Frequência | % |
|----|------------------------------------|------------|-------|
| 1 | Causas externas (acidentes) | 16.294 | 33,1% |
| 2 | Doenças infecciosas e parasitárias | 8.808 | 17,9% |
| 3 | Doenças do aparelho circulatório | 7,905 | 16,1% |
| 4 | Diabetes | 6.672 | 13,6% |

| | | | |
|-------|--|--------|-------|
| 5 | Gangrena | 5.136 | 10,4% |
| 6 | Doenças do sistema osteomuscular e do tecido conjuntivo | 2.961 | 6,0% |
| 7 | Neoplasias | 957 | 0,5% |
| 8 | Doenças da pele e do tecido subcutâneo | 230 | 0,5% |
| 9 | Malformações congênitas e deformidades anomalias cromossômicas | 202 | 0,4% |
| Total | | 49.165 | 100% |

Fonte: Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde (2013, p. 08).

Em uma amputação parcial, o membro residual de amputação é denominado coto. Este coto é considerado como um novo membro do corpo e, geralmente, é utilizado para manipulação e controle de uma futura prótese (CARVALHO, 2003).

Segundo Costa (2017), após a amputação, um coto é considerado adequado/satisfatório quando ele serve para manusear uma prótese funcional. Para um melhor entendimento das amputações de membros superiores, elas foram divididas em níveis que são estabelecidos pelas medidas de comprimento do coto. A classificação dos níveis de amputação é apresentada na Figura 1:

FIGURA 1 - Níveis de Amputações Membros Superiores.



Fonte: Adaptado de Da Silva (2015, p. 16).

Cada tipo de amputação é tratado da seguinte forma:

1 - Desarticulação do Ombro: “é uma amputação onde se retira todo o braço desde o úmero, rádio, ulna e os ossos da mão” (COSTA, 2017, p.38).

2 - Transumeral: Amputação que acontece acima do cotovelo, entre a articulação do cotovelo e a articulação do ombro (BOCCOLINI, 2000).

3 - Desarticulação do cotovelo: “São amputações onde se retiram toda a parte da articulação do cotovelo para baixo, preservando o úmero por completo” (COSTA, 2017, p.38).

4 - Transradial: é uma amputação abaixo do cotovelo, entre a articulação do punho e a articulação do cotovelo (BOCCOLINI, 2000).

5 - Desarticulação do Punho: “Nesta amputação preservam-se os ossos do rádio e ulna por completo” (COSTA, 2017, p.38).

6 - Transcarpiana: é amputação dos dedos. (BOCCOLINI, 2000).

É importante destacar que “a amputação é usada para melhorar a função, aliviar sintomas, e o mais importante, salvar a vida do paciente ou melhorar sua qualidade de vida” (SMELTZER et al., 2009 apud BOTH et al., 2011, p. 612).

Porém, as amputações costumam ser um processo inesperado e muito doloroso do ponto de vista psicológico para o paciente, pois o coto da amputação passa a estar sempre presente na vida do amputado levando-o a ter lembranças recorrentes no momento triste de sua vida (PAIVA; GOELLNER, 2008). Do mesmo modo, uma amputação diminui a autonomia da pessoa, levando-o a muitas vezes a ficar dependente de seus familiares e pessoas próximas (SMELTZER et al., 2009 apud BOTH et al., 2011).

Entretanto, os avanços tecnológicos trouxeram novas possibilidades para pessoas amputadas. Existem vários modelos de corpos protéticos existentes no mercado. Porém, altos custos de equipamentos e treinamentos afastam os usuários da utilização de próteses (PAIVA; GOELLNER, 2008).

O SUS disponibiliza gratuitamente próteses mecânicas e/ou estéticas para amputados de membros superiores. Entretanto, próteses mioelétricas não são disponibilizadas aos pacientes devido ao alto custo do equipamento e de seus treinamentos. Mas, para o paciente conseguir uma prótese deve-se entrar na fila de espera que pode demorar vários anos (COSTA, 2017).

2.3 Tipos de Próteses

As próteses de membros superiores são desenvolvidas para suprir parcialmente funções da parte do corpo que foi perdida durante a amputação, além de proporcionar ao amputado uma maior autonomia para a realização das atividades cotidianas. Ela somente será prescrita por um profissional se for para melhorar a qualidade de vida do paciente (BRASIL, 2013).

Normalmente “as próteses de membros são muito utilizadas por pacientes que possuem um coto de tamanho adequado, vascularizado e bem revestido pela musculatura que o envolve” (BARRETO; MENDES e SOUSA, 2013, p. 03).

As próteses podem ser divididas em dois grupos, estéticas e funcionais. (BRASIL, 2016).

2.3.1 Próteses Estéticas

As próteses estéticas possuem como principal função a estética. Porém, elas têm dois papéis auxiliares que são: a função de complementar o membro que foi amputado e de dar equilíbrio à postura corporal do paciente (BRASIL, 2016);

Segundo Carvalho (2004), as principais vantagens em se utilizar uma prótese estética são: baixo peso, relativamente fácil de usar e melhora na aparência do usuário. Entretanto, sua principal desvantagem é que possui funcionalidade praticamente nula. A Figura 2 mostra uma prótese estética.

FIGURA 2 - Prótese estética para desarticulado de ombro.



Fonte: BRASIL - Orientação a Pacientes de Membro Superior (2016, p. 8).

2.3.2 Próteses Funcionais

Existem dois tipos de próteses funcionais de membros superiores. São elas: as com acionamento mioelétrico e as com acionamento mecânico por meio de tirante (*Body-Powered*) (DUTRA et al., 2018).

As próteses funcionais com acionamento mioelétrico são também conhecidas como próteses energizadas por unidades externas. Estas “próteses são acionadas por meio de elétrodos que, em contato com a pele, captam a contração muscular para abrir e fechar a mão do paciente” (BRASIL, 2016, p. 08).

De acordo com Carvalho (2004), a prótese mioelétrica é a que fornece a maior independência ao usuário, pois, por meio dela é possível realizar movimentos relativamente naturais. Todavia, segundo o mesmo autor essas próteses possuem como principais desvantagens o altíssimo custo de aquisição, alto peso e a dificuldade de treinamento. Apesar de novas iniciativas relacionadas a próteses por impressão 3D diminuírem o tempo de produção dos dispositivos protéticos (FERNANDES; FOGGIATTO; POIER, 2015), a dificuldade de treinamento posa como um problema (PEZZIN et al., 2004 apud SHARMA et al. 2018). A Figura 3 mostra um modelo de prótese funcional com acionamento mioelétrico.

FIGURA 3 - Prótese funcional com acionamento mioelétrico.



Fonte: MYOBOCK (2011).

Por outro lado, as próteses funcionais com acionamento mecânico têm, muitas vezes, seu funcionamento por meio de um tirante para abertura e fechamento da mão, ou seja, ela utiliza os movimentos do próprio usuário para se movimentar (BRASIL, 2016). Entretanto, existem modelos que podem ser acionadas apenas com o movimento do coto e cotovelo, conforme mostra a Figura 4.

FIGURA 4 - Prótese funcional com acionamento mecânico com coto e cotovelo.



Fonte: ProtesisBrasil (2017, p. 2).

As mesmas são constituídas por uma estrutura mecânica, que aproveita a força de movimento de alguma parte do corpo para ser operada e executar o movimento da prótese (BRASIL, 2016). “Normalmente utiliza-se o sistema de “arreios” para fixar a prótese ao membro amputado e servir de apoio para a execução do movimento” (DUTRA et. al, 2018). A Figura 5 mostra uma prótese por acionamento de tirante para amputados de desarticulação de punho.

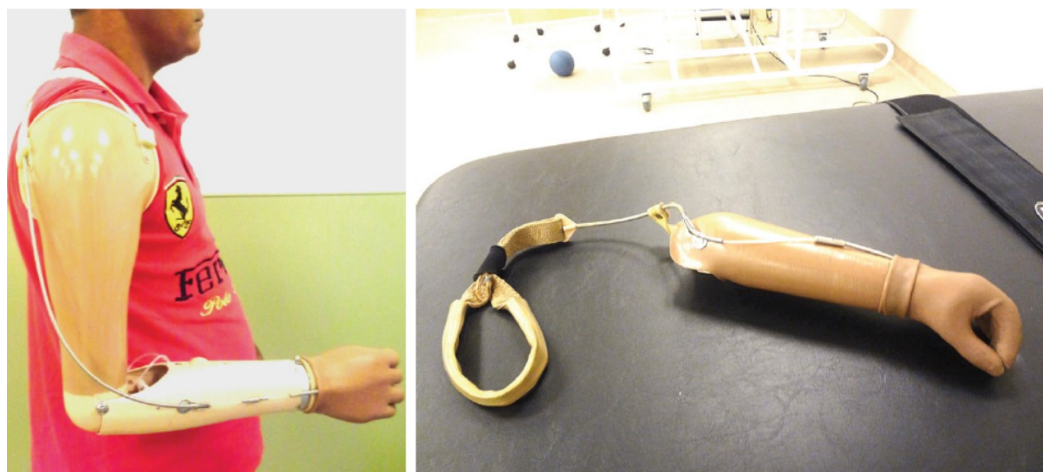
FIGURA 5 - Prótese Body-Powered.



Fonte: DUTRA et. al, 2018 Orientação a Pacientes de Membro Superior (2016, p. 8).

Para Carvalho (2004), a principal vantagem em se utilizar uma prótese funcional com acionamento mecânico por meio de tirante é que ela fornece um certo grau de independência ao seu usuário. Entretanto, ela possui como desvantagem a alta dificuldade de adaptação ao uso contínuo, devido ao controle dos movimentos não serem naturais. A Figura 6 mostra uma pessoa utilizando um modelo de prótese funcional com acionamento mecânico por tirantes.

FIGURA 6 - Prótese funcional com acionamento mecânico.



Fonte: Orientação a Pacientes de Membro Superior (2016, p. 8).

Aproximadamente metade do mercado atual de próteses de membros superiores são baseado em sistemas acionados por tirantes (VUJAKLIJA; FARINA; ASZMANN, 2016).

2.4 Realidade Virtual

Realidade Virtual (RV) é uma interface avançada do usuário para acessar aplicações e informações executadas em um dispositivo, proporcionando a ele a visualização, movimentação e interação em tempo real com o ambiente tridimensional (KIRNER; SISCOOTTO, 2007), (BURDEA, 1994).

Do mesmo modo, é correto afirmar que “Realidade Virtual também pode ser considerada como a junção de três ideias básicas: imersão, interação e envolvimento. Isoladamente, essas ideias não são exclusivas da Realidade Virtual, mas aqui elas coexistem” (MORIE, 1994 apud PINHO; KIRNER, 1997, p. 04).

A imersão é a principal característica da RV, ela acontece devido o ambiente de RV tentar imitar em determinado contexto a realidade, dando ao usuário uma sensação de presença (CARDOSO; LAMOUNIER, 2004).

Já interação acontece devido o ambiente de RV propiciar ao usuário a possibilidade de “entrar no espaço virtual das aplicações e visualiza, manipula e explora os dados da aplicação em tempo real, usando seus sentidos, particularmente os movimentos naturais tridimensionais do corpo” (PINHO; KIRNER, 1997, p. 02).

“A ideia de envolvimento, por sua vez, está ligada com o grau de motivação para o engajamento de uma pessoa com determinada atividade. O envolvimento pode ser passivo, como ler um livro, ou ativo, ao participar de um jogo” (BOTEGA; CRUVINEL, 2009, p. 13).

Para Cardoso e Lamounier (2006), definem RV de maneira mais ampla, afirmando que é uma tecnologia que faz a junção de computadores de grande desempenho com periféricos especializados, executando programas específicos, que permitem os usuários interagirem com objetos gráficos com aparências realísticas, podendo até fazer uso de canais multissensoriais com a visão, audição, tato, olfato ou paladar.

Um sistema de Realidade Virtual deve ser capaz de permitir ao usuário experiências dentro de ambientes artificiais de forma igual ou diferente do permitido no mundo real (GRADY, 2002), conforme mostra a Figura 7.

FIGURA 7 - Ambiente virtual de treinamento.



Fonte: NUNES et al. (2018, p. 75).

Por fim, chega-se à conclusão que um sistema de RV deve fazer o usuário se isolar do mundo exterior, fazendo-o ele acreditar que faz parte do mundo virtual.

2.5 Realidade Aumentada

2.5.1 Definições

Semelhante à Realidade Virtual, várias definições de Realidade Aumentada surgiram. A seguir, são apresentadas algumas mais comumente utilizadas.

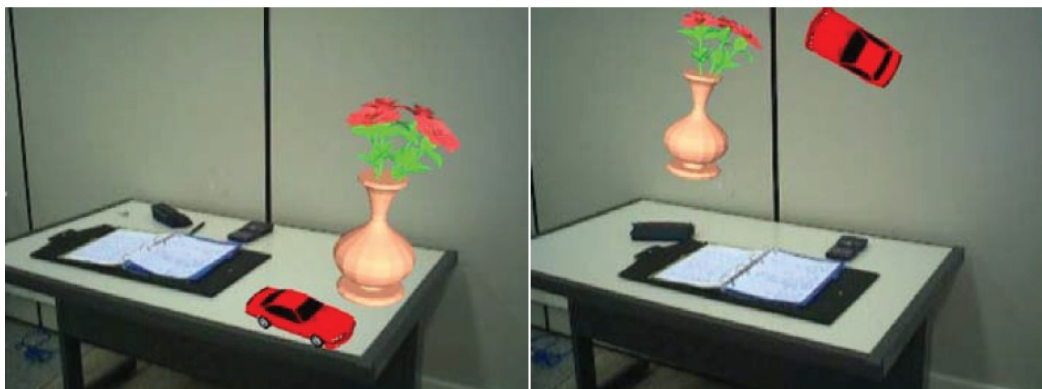
Para Cardoso e Lamounier (2004, p. 173), “a Realidade Aumentada é o enriquecimento do ambiente real com elementos virtuais, usando algum dispositivo tecnológico, funcionando em tempo real. Os elementos virtuais podem ser textos, imagens e objetos virtuais, gerados por computador”.

Segundo Kirner e Pinho (1997), Realidade Aumentada é uma combinação do ambiente real com objetos virtuais, onde geralmente pode-se utilizar óculos ou capacetes com visores semitransparente, onde o ambiente real é sobreposto por objetos virtuais. Com isso é possível enxergar o ambiente real e os objetos virtuais, ou seja, é possível enxergar o mundo real enriquecido com objetos virtuais.

Para Azuma et al. (2001), “a RA é a inserção de objetos virtuais no mundo real por meio de um dispositivo computacional. Desta forma, a interface do usuário é aquela, que ele usa no ambiente real, adaptada para visualizar e manipular os objetos virtuais colocados no seu espaço”.

“Diferentemente da RV, que transporta o usuário para um outro ambiente virtual fazendo-o perder completamente o espaço físico e local, a RA mantém referências para o entorno real, transportando elementos virtuais para o espaço real” (TORI; HOUNSELL, 2018). A Figura 8 mostra um exemplo de aplicação de Realidade Aumentada.

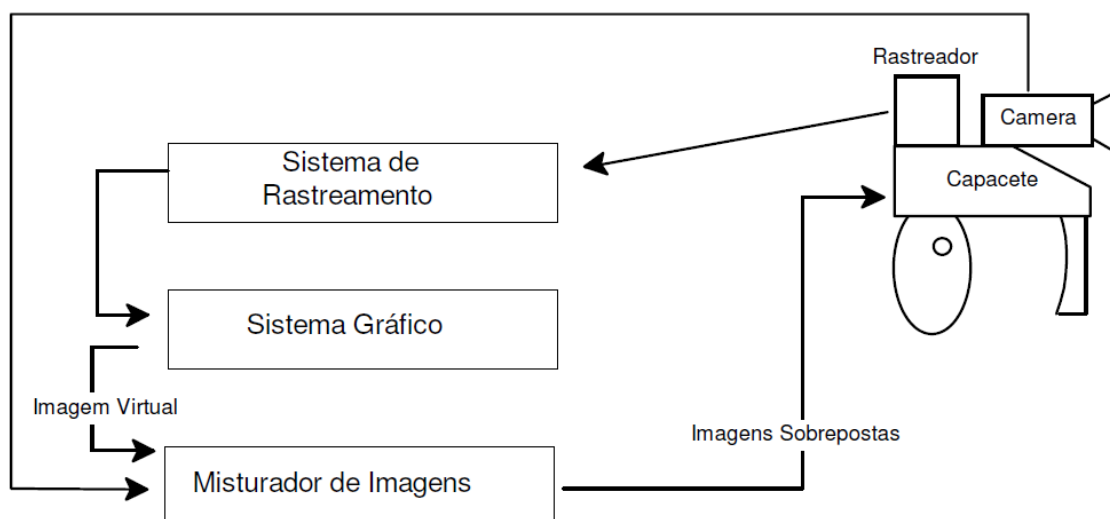
FIGURA 8 - Aplicação utilizando Realidade Aumentada.



Fonte: RIBEIRO; ZORZAL (2011, p. 15).

Retomando Kirner e Pinho (1997), um sistema de Realidade Aumentada é composto por um capacete ou óculos com um sistema de rastreamento de posição que serve para a visualizar o objeto virtual no ambiente real, no exato lugar que o mesmo deve ser sobreposto, ou seja, a câmera é responsável por rastrear o local onde o objeto vai ser sobreposto, além de captar imagens em tempo real. Assim os óculos ou computador renderizam o objeto na posição exata que foi rastreado. Um misturador combina as duas imagens e mostra o resultado ao usuário, conforme esquema da Figura 9. Corroborando, Tori e Hounsell (2018), afirmam pode-se utilizar smartphones ou tablets em sistemas de Realidade Aumentada.

FIGURA 9 - Arquitetura de um Sistema de Realidade Aumentada.



Fonte: KIRNER; PINHO (1997, p. 5).

Ressalta-se que as menções ao mundo físico devem ser apresentadas de forma coerente para o usuário. É necessário que o sistema de Realidade Aumentada consiga identificar não somente onde devem ser colocados os elementos virtuais, mas também como eles devem ser exibidos para o usuário, de acordo com seu ponto de vista, a qualquer tempo (TORI e HOUNSELL, 2018).

Por fim, diferente da Realidade Virtual, a Realidade Aumentada, não faz o usuário perder a sensação de presença do ambiente real, ela simplesmente enriquece o ambiente real com objetos virtuais.

2.5.2 Rastreamento

Sistemas de rastreamento podem ser utilizados em diversas áreas, como medicina, esportes, segurança e entretenimento, games etc. (QUEIROZ, 2011). Existem vários tipos de rastreadores, tais como os mecânicos, magnéticos, acústicos ou inerciais. Porém, todos possuem características e limitações como por exemplo: os mecânicos que possuem boa precisão, mas são limitados a uma área de atuação pequena. Já os magnéticos são ótimos para uma área pequena de rastreamento. Porém podem apresentar erros se um metal estiver próximo ao ambiente. Finalmente, os acústicos são suscetíveis a erros causados por ruídos sonoros; e os inerciais acumulam erros com o tempo (BOWMAN et al., 2004).

Entretanto, dentre as formas de rastrear um objeto, as técnicas de Visão Computacional são as que apresentam melhores resultados, considerando-se o tempo de execução das aplicações (HOFMAM et al., 2006). Dentre essas técnicas, destacam-se aquelas baseadas no uso de marcadores fiduciais. Contudo, são limitadas ao campo de visão da câmera (QUEIROZ, 2011). A Figura 10 demonstra técnicas de rastreamento com visão computacional, onde são rastreadas as linhas do campo de futebol.

Os marcadores mais comuns são os fiduciais que funcionam a partir de cartões com uma moldura retangular e com um símbolo em seu interior, funcionando como um código de barras 2D, que permite o uso de técnicas de visão computacional para calcular a posição da câmera real e sua orientação em relação aos marcadores, de forma a fazer com que o sistema possa sobrepor objetos virtuais sobre os marcadores (TORI; HOUNSELL, 2018, p. 08).

FIGURA 10 - Rastreamento por meio de múltiplos pontos.



Fonte: HOFMAN et al., (2006, p. 3).

Em ambientes de RV ou RA, o rastreamento tem a função de identificar a posição de usuários ou objetos que interagem com o ambiente. No caso de uma pessoa, ele pode identificar a posição da mão, do braço, da cabeça, dando ao usuário poder para tocar, movimentar, agarrar ou soltar objetos virtuais (KIRNER; SISCOOTTO, 2007).

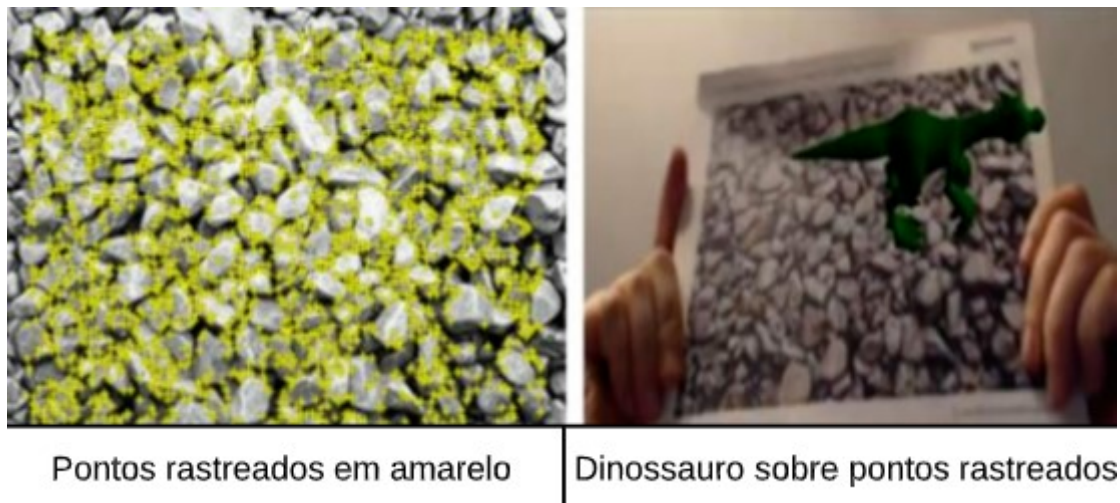
Corroborando, Queiroz (2011), afirma que “a principal função do rastreamento, isto é, do algoritmo de rastreamento, é manter a semântica de um marcador de um quadro de imagem para o outro”. Com isso, o rastreamento é capaz de medir a posição e a orientação do objeto em relação ao sistema de captura. Um bom rastreamento é extremamente importante, pois pode garantir uma maior de imersão ao usuário (LAHR; LOURENÇO; DAINESE, 2004).

Assim, para otimizar o desenvolvimento de sistemas de RA, pode-se usar equipamentos em conjunto, ou seja, computador com: rastreadores de imagem e sensoriais, GPS externos, trajes especiais e Head Mounted Displays (HMDs), garantindo assim ambientes virtuais ou aumentados com uma maior sensação de imersão ao usuário (CUPERSCHMID e FREITAS, 2013).

Existem diversas APIs que facilitam a criação de ambiente de Realidade Aumentada. Cada API possui vantagens e desvantagens, algumas sendo até mesmo gratuitas (CUPERSCHMID e FREITAS, 2013). Entretanto, Vuforia é uma das APIs mais utilizadas para desenvolvimento de ambiente aumentados, pois possui suporte para diversas plataformas móveis e capacete HMD, além de possibilitar o desenvolvimento em diversos sistemas operacionais tais como Android, IOS e Windows (BERGAMASCHI e MORAIS, 2014).

A API Vuforia é um kit de desenvolvimento de software (SDK) de Realidade Aumentada, criado pela empresa norte americana Qualcomm Connected Experiences que foi posteriormente vendido para empresa PTC, que permite o desenvolvimento de aplicações para capacetes HMDs e dispositivos móveis, fazendo uso de rastreamento e reconhecimento de marcadores ou imagens pré-configuradas para posicionar um objeto 3D virtuais, em tempo real (DANIELSKI et al., 2014). A Figura 11 mostra um rastreamento de marcador utilizado a API Vuforia. Do lado esquerdo da Figura onde estão os pontos rastreados (pontos em amarelo) pela API. Já do lado direito da figura está o objeto tridimensional posicionado sobre o marcador rastreado.

FIGURA 11 - Rastreamento de marcador utilizado a API Vuforia.



Fonte: KIM; KIM. (2014, p. 387).

A API Vuforia permite criar uma grande variedade de ambientes e objetos virtuais para experiências em RA, destacam-se entre suas características a capacidade de: (PTC, 2018)

- Marcadores de imagens planas, como mídia impressa e revistas;
- Marcadores cilíndricos que podem ser usados em qualquer objeto de forma cilíndrica, como por exemplo: garrafas e latas;
- A possibilidade de trabalhar como múltiplos marcadores;
- O escaneamento de objetos reais para ser utilizados como marcadores fixos;
- O gerenciamento de objetos tridimensionais por meio de banco de dados;
- Possui suporte ao engine de jogos Unity;
- Integração com diversos capacetes HMDs dentre eles: Oculus Rift, Microsoft Hololens™ e Vuzix®.

Do mesmo modo, Santos, Dourado e Bezerra (2016) afirmam que a API Vuforia contém funcionalidades de Visão Computacional que reconhecem qualquer imagem como sendo um marcador, porém esta imagem deve estar classificada e armazenada em seu banco de dados.

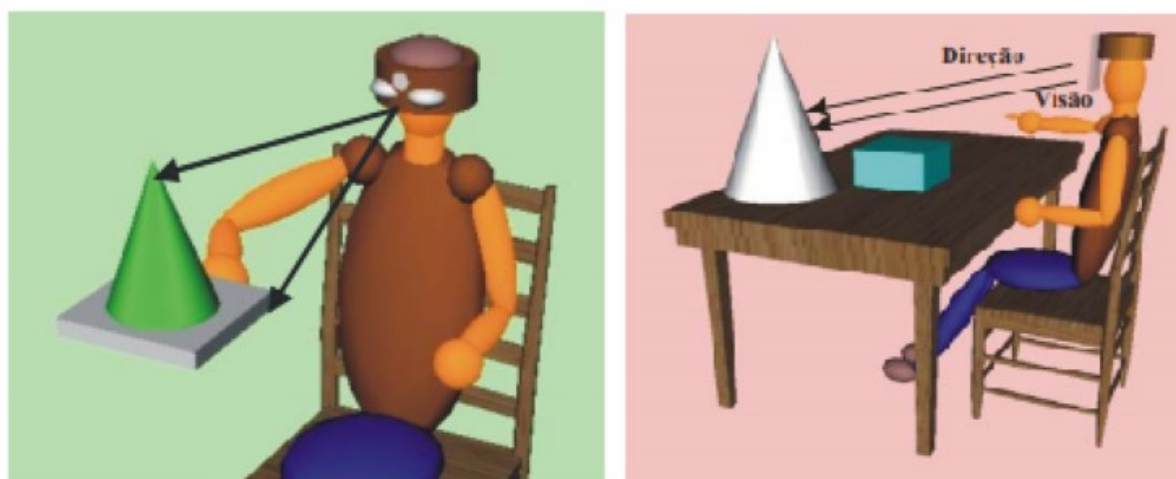
Por fim, a Vuforia possui seu próprio sistema de avaliação de imagem para marcadores, onde ela avalia, numa escala de zero a cinco, a qualidade de rastreamento do marcador. Esse sistema pode ser aplicado a qualquer tipo de marcador seja plano, cilíndrico, cúbico ou físico. Quanto maior for a nota de avaliação, mais rápido será identificado o marcador pela câmera. (PTC, 2018).

2.5.3 Tipos de Realidade Aumentada

Podemos classificar a RA utilizando uma forma de visualização, ou seja, utilizando o critério de como o usuário vê o mundo (TORI e HOUNSELL, 2018). Existem duas classificações: visada direta e visada indireta.

Em um ambiente de Realidade Aumentada, o usuário deve poder interagir com o mundo e os elementos virtuais, de maneira mais natural e intuitiva (BILINGHURST, et al., 2002). Quando um usuário vê o mundo apontando os olhos diretamente para as posições reais com cena óptica ou por vídeo, chamamos de Realidade Aumentada visada direta ou de Realidade Aumentada imersiva (Figura 12) (TORI e HOUNSELL, 2018).

FIGURA 12 - Realidade Aumentada Imersiva.



Fonte: TORI; KIRNER; SISCOOTTO. (2018, p. 28).

Pode-se propor o uso de ambientes de Realidade Aumentada imersiva utilizando vários tipos de dispositivos como interface, tais como Vuzix® e Microsoft Hololens™ (SILVA, 2016).

Já sistema de Realidade Aumentada que utilizam monitores como dispositivo de interface de saída, limitam drasticamente o campo de visão de seus usuários (BILINGHURST, et al., 2002). Devido a este problema, alguns pesquisadores acreditam que RA de certa maneira requer o uso de HMDs (AZUMA, 1997).

Quando o usuário vê o mundo em algum dispositivo, como monitor ou projetor, não alinhado com as posições reais, chamamos de Realidade Aumentada visada indireta ou Realidade Aumentada Semi-Imersiva (Figura 13) (TORI e HOUNSELL, 2018).

FIGURA 13 - Realidade Aumentada Semi Imersiva.



Fonte: TORI; KIRNER; SISCOUTTO. (2018, p. 28).

Por fim, interfaces de RA que utilizam telas convencionais como dispositivo de saída ainda são muito utilizadas, mostrando-se eficazes para aplicações que não necessitam de um grande campo de visão.

2.6 Realidade Misturada

A RA é considerada uma ramificação da Realidade Misturada. Entretanto, podemos dizer de fato, que RA e RM têm características em comum e têm sido usados como sinônimo de maneira errônea (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2018). Na verdade, o termo RA está inserido de forma indiscriminada num contexto mais amplo que é a RM.

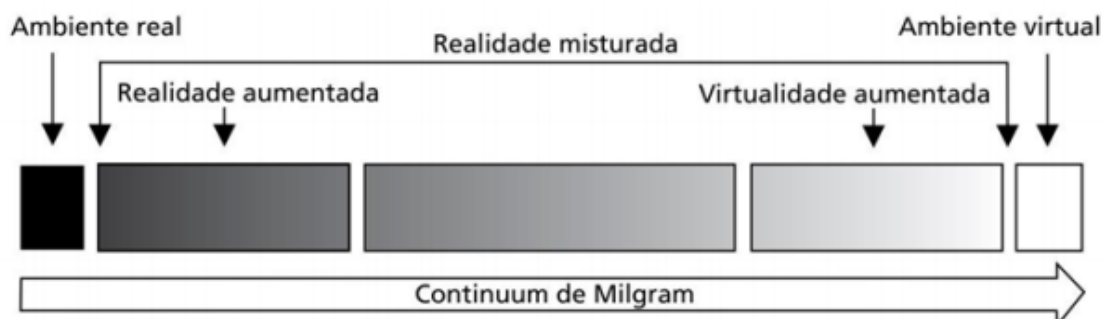
Para Rodello (2010), RA é um termo utilizado para caracterizar o espaço de transição entre o mundo real e o artificial gerado por computador. Este ambiente baseia-se na coexistência de objetos reais e virtuais, em que o usuário interage sem distinção.

Já a RM é um conceito que envolve a sobreposição de objetos virtuais tridimensionais gerados por computador com o ambiente físico, mostrada ao usuário, com o apoio de algum dispositivo tecnológico, em tempo real (MILGRAM et al. 1994 apud RIBEIRO; ZORZAL, 2011).

Em 1994, um importante artigo publicado por Milgram e mais três colegas apresentou o que passou a ser conhecido como “Contínuo real-virtual” ou “Contínuo

de Milgram” (Figura 14), que mostra tudo que está entre o Mundo Real e a RV, pode ser chamado de RM (MILGRAM et al., 1994).

FIGURA 14 - Contínuo Real-Virtual, Milgram et al. (1994). Adaptado do original por Tori (2018).



Fonte: TORI; HOUNSELL (2018, p. 05).

É possível notar que a RM se encontra no meio entre a realidade completamente virtual e a realidade física como a conhecemos, incorporando elementos virtuais ao ambiente real ou leva elementos reais ao ambiente virtual, complementando os ambientes (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2018). A Figura 15 mostra uma aplicação de Realidade Misturada onde a peça virtual se mistura com a real. Note nesta figura que existe um ‘entrelaçamento’ entre o motor real e a peça virtual. Ou seja, o motor real não estaria completo sem o acoplamento da peça virtual para os fins que o ambiente de treinamento ou simulação foi projetado.

Lembra-se que a RA é um caso particular da Realidade Misturada, mas geralmente o termo RA tem sido usado de uma maneira mais ampla. Todavia, no ambiente da RM, a RA ocorre quando objetos virtuais são colocados no mundo real. (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2018).

FIGURA 15 - Realidade Misturada.



Fonte: PTC. (2018).

Para Lamounier, Tori e Hounsell (2018, p.662):

Realidade Misturada trata da sobreposição de cenas reais e objetos virtuais. Entretanto, diferentemente da RA, os objetos virtuais estão ancorados à realidade da cena real. Por exemplo, imagine que uma mesa de escritório precisa ser modificada de acordo com a distância que ela se encontra de um móvel ou de uma janela. Neste caso, pode-se projetar na mesa real um modelo 3D da parte a ser acrescida na mesa, de acordo com sua posição. Assim, à medida que o usuário muda a mesa de posição, o modelo 3D da parte a ser acrescida modifica-se e adequa-se à nova posição pretendida, ou seja, neste caso, o objeto real e objeto virtual são tratados como um único objeto - pelo menos na perspectiva da pessoa que está vivenciando o experimento em Realidade Misturada (RM).

Veja na Figura 16 uma aplicação em Realidade Misturada, onde o usuário enxerga uma peça virtual acoplada com uma peça real.

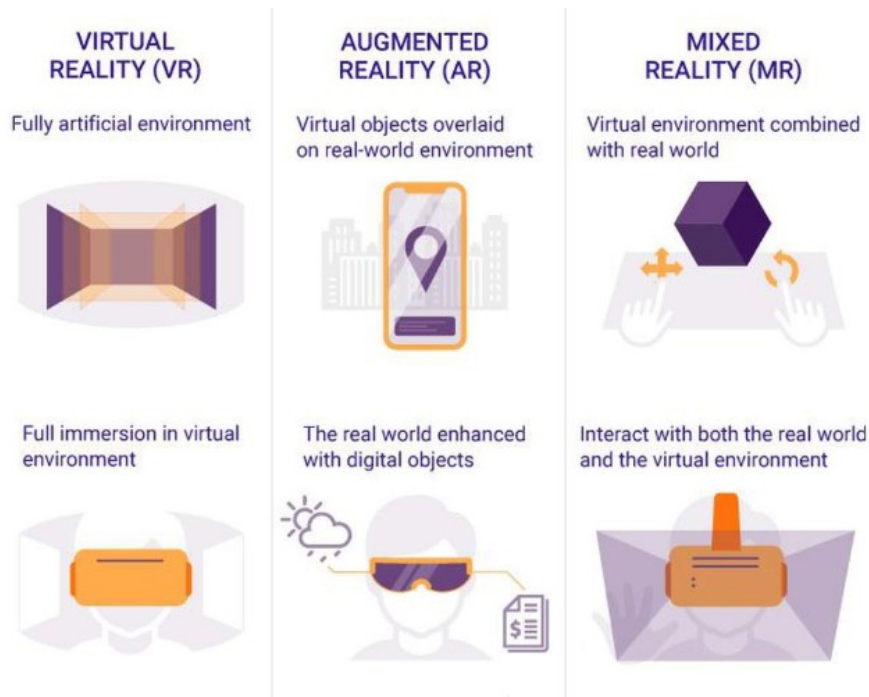
FIGURA 16 - Ambiente de Manutenção em Realidade Misturada.



Fonte: PTC. (2018).

Ressalta-se que, na Realidade Misturada, pode-se identificar objetos virtuais como na Realidade Aumentada, mas esses objetos também podem interagir com o mundo real. Em certo sentido, a Realidade Misturada é um tipo de Realidade Aumentada mais imersiva e interativa (BRYKSIN, 2017). A Figura 17 detalha a diferenciação entre estes conceitos.

FIGURA 17 - Diferenciação de RV, RA e MR.



Fonte: TOKAREVA (2018).

Do mesmo modo, Kirner (2004, p.3), afirma que:

A definição mais precisa de Realidade Misturada envolve: a combinação do real com o virtual; a interação em tempo real; o posicionamento tridimensional do real e virtual. Todavia para funcionar, há alguns problemas tecnológicos que precisam ser bem resolvidos, entre eles: rastreamento de objetos reais; posicionamento e calibração das sobreposições no ambiente tridimensional misturado e interação.

Finalmente, no exemplo da Figura 8, a mesa não perderia seu significado, caso o vaso e o carrinho de brinquedo fossem retirados de cena – isto está mais relacionado ao uso comum da expressão Realidade Aumentada. Entretanto, para um ambiente de treinamento de amputados de membros superiores, é importante que se projete uma prótese virtual no coto do amputado. Ou seja, coto e prótese virtual tem que estar entrelaçados. De fato, para o ambiente de treinamento, se o usuário mexe o coto, a prótese virtual tem que acompanhar, naturalmente, o seu movimento. Isto demanda muito mais precisão no rastreamento. Perceba que no exemplo da Figura 8, a mesa pode ser tirada de lugar e o vaso e o carrinho de brinquedo podem continuar suspensos, onde estavam originalmente. Portanto, para efeito desta dissertação, a expressão Realidade Misturada é usada para se referir a ambientes aumentados, onde existe uma relação de “dependência” (acoplamento, entrelaçamento) entre os objetos virtuais e os objetos reais capturados por câmeras.

2.7 Jogos Sérios

Um jogo é uma competição física ou mental, jogado de acordo com regras específicas com o objetivo de divertir ou recompensar os participantes (ZYDA, 2005). Entretanto, existem jogos focados em propostas específicas, como por exemplo os jogos sérios. (DERRYBERRY, 2008 apud CAVALCANTE et al., 2018).

Um Jogo Sério ou Serious Game como também é conhecido, é projetado para educar ou ensinar habilidades e tentar usar o princípios motivacionais de jogos para um propósito "sério" (MERT et al. 2018).

Do mesmo modo, Cyrino et. al. (2019, p. 10) afirma que “um jogo sério possui um propósito educacional ou reabilitador explícito como prioridade, em vez de servir apenas para o divertimento”.

Para Vaseva (2014), pesquisas na área de jogos sérios são muito promissoras. No entanto, isto acontece devido os jogos sérios poderem ser utilizados como

estratégia para treinamento, simulação e educação, podendo serem executados em computadores ou dispositivos portáteis (TAN; LAU; LIAW, 2017). A figura 18 mostra um exemplo de jogo sério para treinamento de profissionais de saúde.

FIGURA 18 - Jogo Sério CareMe® para treinamento de profissionais de saúde.

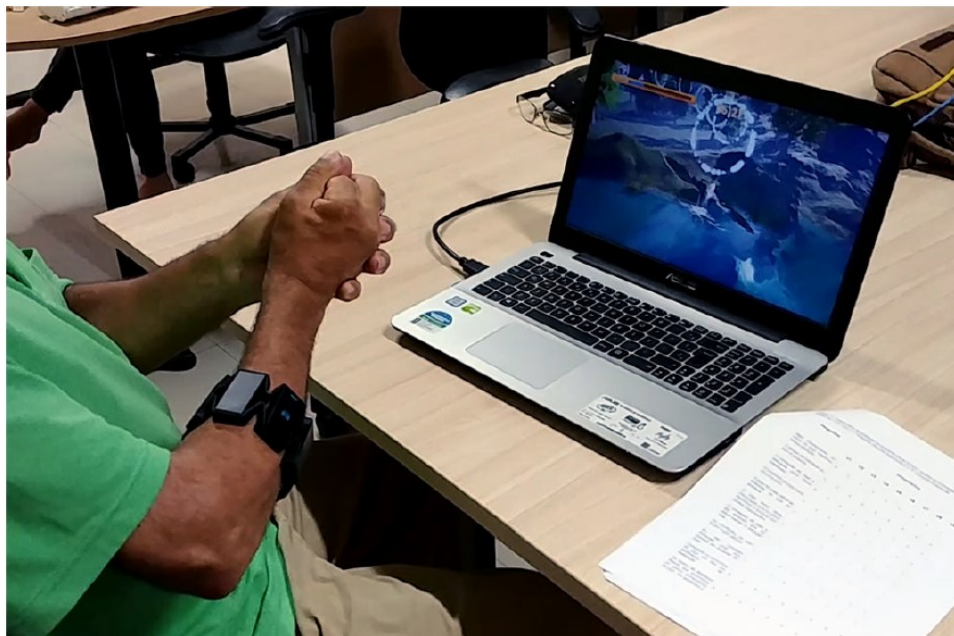


Fonte: KOIVISTO et al. (2017, p. 03).

Bons jogos sérios devem fornecer feedback claro, consistente e significativos em resposta às ações do usuário. Estes feedback podem ser visuais, auditivos ou vibratórios (BURKE et al., 2010).

Jogos Sérios podem ser muito úteis em treinamento para tarefas consideradas complexas ou em treinamento para situações reais não possíveis de serem executadas naquele momento (SCHILD et al., 2018). A Figura 19, mostra um jogo sério que traz feedback visuais e auditivos para pessoas que necessitam de realizar tratamento de AVC.

FIGURA 19 - Jogo Sériu para reabilitação de AVC



Fonte: CYRINO et al. (2019, p. 65).

Para Burke et al. (2009), uma vantagem de utilizar jogos sérios no processo de treinamento é poder oferecer feedback visual e instantâneo, nas atividades realizadas pelo usuário do jogo. Esta vantagem pode causar aumento de motivação ao usuário e dar significado cada movimento realizado. Do mesmo modo, Mert et al. (2018), assegura que a motivação essencial é promover a aprendizagem.

Por fim, Burke et al. (2010), afirma que a concepção de jogos sérios como estratégias de treinamento para reabilitação pode ser associada a tecnologias de interface avançada, para aumentar o envolvimento do usuário e consequentemente melhorar sua participação no processo de treinamento.

2.8 Considerações Finais

Este capítulo apresentou os conceitos teóricos acerca do tema desta dissertação. Inicialmente, foram mostrados os conhecimentos necessários sobre amputações em membros superiores. Em seguida, mostra-se a diferença de Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Realidade Misturada através de conceitos e exemplos. Por fim, mostra-se conceitos sobre o tema Jogos Sérios.

Capítulo 3

Trabalhos Correlatos

3.1 Introdução

Neste capítulo, são abordados trabalhos relacionados ao tema proposto. Assim, foram levantados trabalhos com foco no uso de Realidade Virtual e Realidade Misturada no treinamento de pessoas com amputação de membros superiores. Ao final, é apresentada a proposta de contribuição deste trabalho, em contraste aos demais trabalhos publicados na área.

3.2 Treinamento com Realidade Virtual

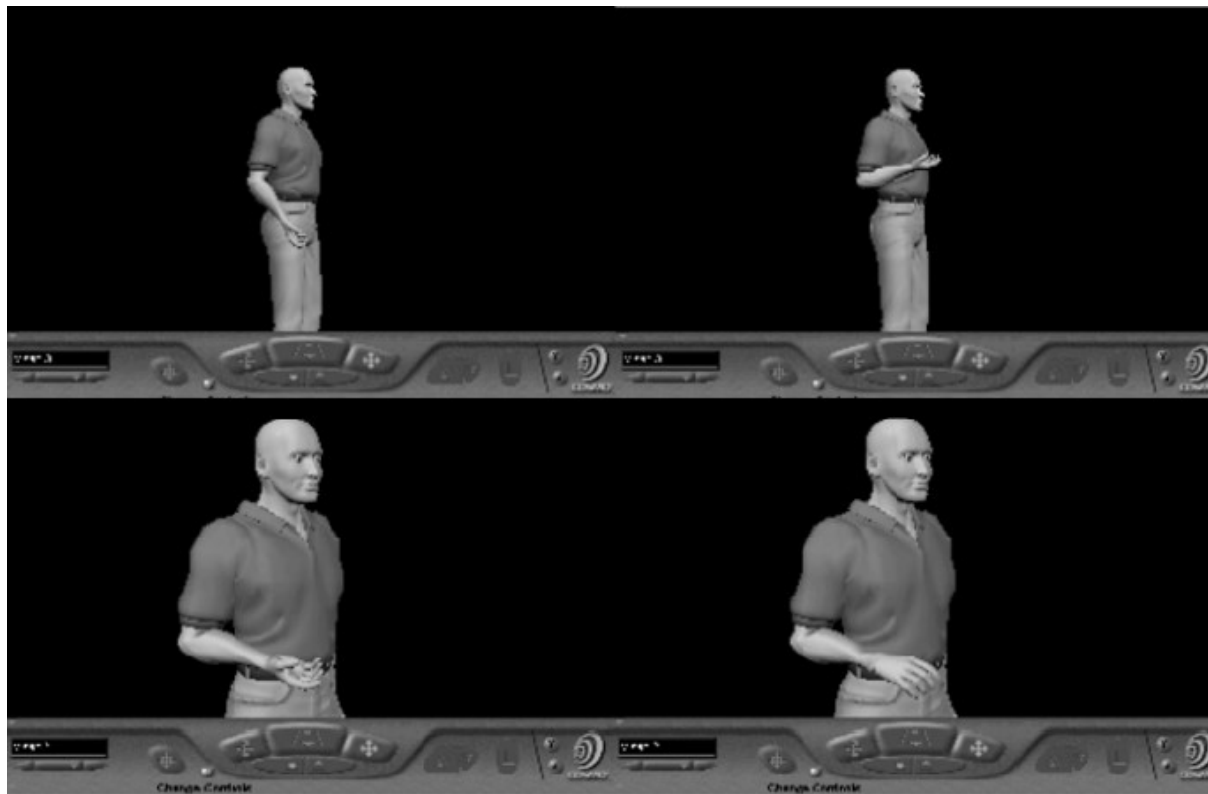
3.2.1 Virtual Myoelectric Prosthesis

Soares et al. (2003) apresenta um sistema em Realidade Virtual para treinamento de amputados de membros superiores, com foco em pessoas que utilizaram próteses por meio de acionamento mioelétrico.

Na proposta desse sistema, um dispositivo faz uma coleta de sinais mioelétricos (EMG), por meio de cinco pares de eletrodos, conectados aos músculos remanescentes do coto do paciente, gerando assim 5 sinais brutos que devem ser processados. Logo depois da aquisição dos sinais, os mesmos são amplificados para serem pré-processados. Tanto a amplificação quanto o pré-processamento seguem uma série de critérios pré-estabelecidos (SOARES, 2003). Após o pré-processamento, começa uma fase, onde uma Rede Neural MLP é utilizada para classificar o tipo de sinal EMG emitido. O sinal classificado é enviado para um ambiente virtual, onde um avatar responde aos movimentos intencionados pelo

amputado. O sistema de RV é capaz de simular quatro tipos de movimento (extensão, contração, supinação e pronação), conforme ilustra a Figura 20.

FIGURA 20 - Virtual Myoelectric Prosthesis.



Fonte: SOARES et al. (2003, p. 11).

Embora a principal contribuição do trabalho esteja no processamento e classificação dos sinais EMG dos músculos remanescentes do braço, (entre 95% e 100% de sucesso), o ambiente de RV demonstrou um grande potencial como ferramenta para o treinamento de amputados. Especialmente, durante os primeiros meses quando do preparo da montagem de uma prótese.

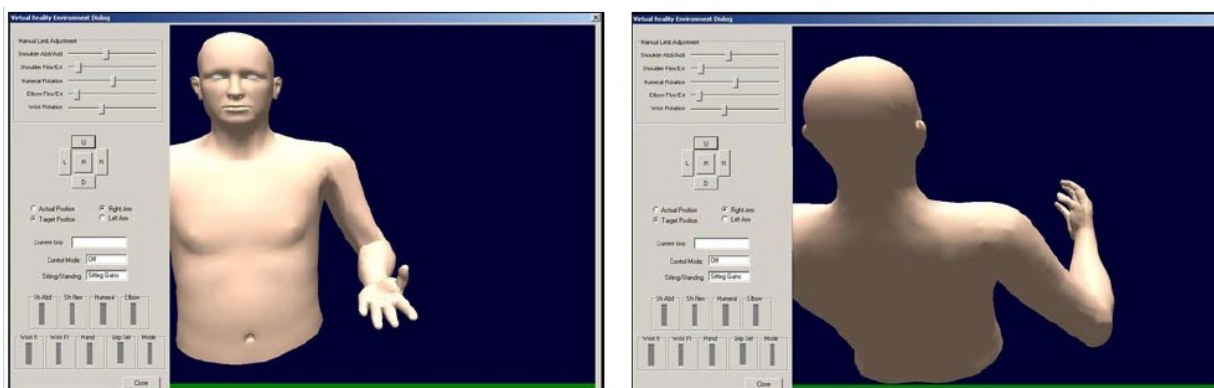
Contudo, o sistema faz o treinamento por meio de um ambiente de RV considerado como não-imersivo. O usuário apenas acompanha os movimentos da prótese, por meio do avatar, sem ter a sensação de imersão. Isto torna o treinamento menos natural e intuitivo. Outro problema não atacado pelo sistema, que traz grande dificuldade no processo de reabilitação, é a movimentação e manipulação de objetos. Esta habilidade pode, certamente, providenciar mais autonomia para os futuros usuários de próteses.

3.2.2 DEKA ARM

Resnik et al. (2011) apresenta um sistema de Realidade Virtual para treinamento de amputados de membros superiores e tem como foco pessoas que utilizaram prótese mioelétrica fornecidas pela empresa DEKA Research & Development Corporation. A prótese possui 10 graus de liberdade, o que torna sua utilização de difícil aprendizagem, exigindo assim maior diversidade e quantidade de treinamento.

Esse sistema de Realidade Virtual ficou conhecido como DEKA Arm e consistia em um avatar 3D que simulava, em tempo real, os movimentos que poderiam ser executados na prótese fornecida. O avatar usado no sistema consiste de um torso e uma cabeça com os dois membros superiores intactos, além de informações visuais adicionais sobre o braço amputado. Os indivíduos usaram seus controles protéticos para operar o braço virtual do avatar na tela de um computador, conforme a Figura 21.

FIGURA 21 - Interface DEKA ARM.



Fonte: RESNIK et al. (2011, p. 05 e 06).

Usando o sistema, o paciente é capaz de obter um feedback visual sobre o uso dos controles protéticos, fornecendo assim informações valiosas sobre os aspectos e a dinâmica do movimento do braço, para cada comando dado ao usuário.

Do mesmo modo, o avatar do sistema possui as mesmas restrições articulares que a prótese real. Com isso, os usuários ganharam maior familiaridade com as habilidades e trajetórias de movimento da prótese.

A aplicação foi testada em um indivíduo de 55 anos com amputação no punho esquerdo, devido a um câncer. O usuário já possuía a prótese real há três meses e

conseguiu avançar de maneira significativa em seu processo de reabilitação, conforme mostra a Figura 22.

FIGURA 22 - Amputado utilizando a prótese para tocar guitarra.



Fonte: RESNIK et al. (2011, p. 09).

Entretanto, semelhante ao trabalho anterior, o DEKA Arm é feito por meio de um ambiente de Realidade Virtual não-imersiva e não permite o treinamento de atividades que simulem a capacidade de alcançar e pegar objetos.

3.2.3 Virtual Prosthesis

Cavalcante et al. (2018) apresenta um jogo sério em Realidade Virtual para treinamento de amputados de membros superiores, com foco em pessoas que utilizaram próteses com acionamento mecânico por meio de tirante, também conhecidas como Body-Powered.

O sistema consiste em uma aplicação instalada e executada em um computador desktop. O sistema gerencia um conjunto de dispositivos/sensores que fica preso no braço do amputado. À medida que o amputado mexe o braço, no ambiente real, a prótese virtual acompanha o movimento no ambiente virtual, com dois graus de liberdade (translação em 3D e rotação em torno de eixo), além de abrir e fechar a mão virtual, conforme mostra a Figura 23.

FIGURA 23 - Interface Virtual Prosthesis.



Fonte: CAVALCANTE et al. (2018, p. 59).

Antes de prender os sensores de rastreamento ao braço do usuário, um profissional de saúde deve posicionar no amputado um tirante modelo 21A36=1, desenvolvido pela empresa Ottobock®. Após iniciar a aplicação, um dispositivo de rastreo é calibrado.

O usuário tem como objetivo realizar um conjunto de tarefas que estão divididas em cinco níveis de dificuldades. O jogo possui como feedback visual uma barra de progresso e um contador de pontos, uma barra de status da prótese e um ajudante virtual, conforme demonstra a Figura 24.

FIGURA 24 - Cena Inicial Virtual Prosthesis.



Fonte: CAVALCANTE et al. (2018, p. 55).

Cavalcante et al. (2018) utiliza para validação a experimentação do sistema por sete usuários não amputados e um usuário amputado. Após a utilização, cada usuário respondeu a um questionário para avaliar a usabilidade e a eficiência da aplicação.

No quesito usabilidade, o sistema apresentou como resultado ter fácil jogabilidade. Entretanto, os usuários relataram dificuldade de manipular os objetos presentes na cena, conforme mostra o vídeo presente no link: https://youtu.be/b__RNpTFjak.

Já no quesito eficiência, o sistema apresentou tempo de resposta satisfatório. Contudo, alguns movimentos executados não condizem com o movimento real e esperado, prejudicando muitas vezes a experiência. Cavalcante et al. (2018, p. 64) relatou que “houve momentos em que a resposta era rápida, mas os movimentos no ambiente virtual não estavam concisos com os movimentos realizados no ambiente real”.

3.2.4 Considerações sobre o Treinamento com Realidade Virtual

É indiscutível o potencial de uso de Realidade Virtual para aplicações de simulação e treinamento (NUNES et al., 2011), (TORI e HOUNSELL, 2018) e (CARDOSO; LAMOUNIER; LIMA, 2018). Em particular, ao considerar a seção anterior, percebe-se a grande contribuição da Realidade Virtual no treinamento de amputados de membros superiores, essencialmente, devido às suas propriedades de imersão e envolvimento.

Entretanto, pela sua própria característica, uma aplicação de Realidade Virtual transporta o usuário para um ambiente totalmente digital. Nesse contexto, muitas vezes, um amputado controla um “coto virtual” para acionar a prótese virtual, durante suas seções de treinamento. Há que se questionar se o uso de seu coto real para o controle de uma prótese virtual não daria a ele uma sensação mais natural de posse da prótese (“*feeling of ownership*”) e que, conseqüentemente, contribuiria mais para o seu aprendizado.

Nesse caso, a Realidade Misturada surge como uma alternativa a ser perscrutada, principalmente, pelo seu princípio de ‘entrelaçar’ objetos reais e virtuais (TOKAREVA, 2018). Baseado nestes questionamentos, recentemente, tem surgido

uma nova linha de investigação que explora o uso da RM no treinamento de amputados de membros superiores. A próxima seção apresenta e discute algumas dessas iniciativas.

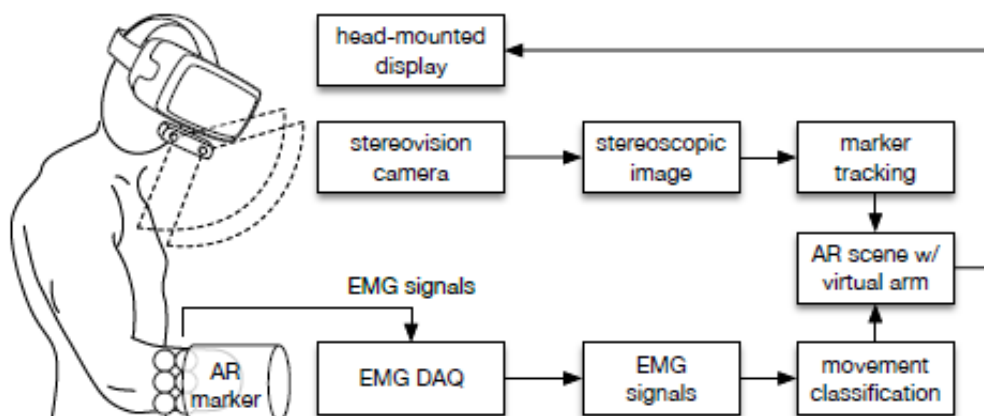
3.3 Treinamento com Realidade Misturada

3.3.1 System TAC

Boschmann et al. (2016) propõe um sistema em Realidade Misturada para treinamento de pessoas com amputações de desarticulação de punho, com foco em treinamento de futuros usuários de próteses mioelétricas.

A arquitetura deste sistema é composta por um par de óculos HMD Oculus Rift DK2®, duas câmeras Logitech C610 HD®, um marcador fiducial e por um conjunto de sensores DAQ MindMedia Nexus ligados a elétrodos, conforme demonstra a Figura 25.

FIGURA 25 - Arquitetura Física do System TAC.

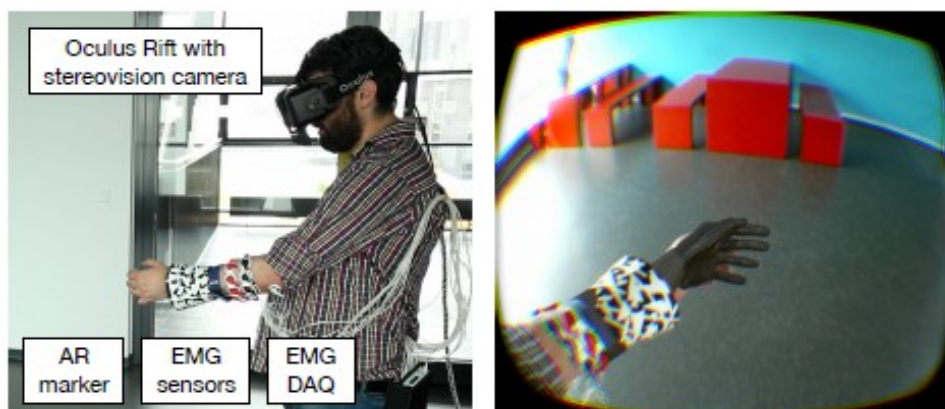


Fonte: BOSCHMANN et al. (2016, p. 01).

O usuário, inicialmente, coloca o marcador fiducial sobre o braço, onde está localizada a amputação de punho. Em seguida, um assistente coloca em sua cabeça o Oculus Rift®, que possui duas câmeras adaptadas e acopladas na parte de baixo dos óculos HMD. Essas duas câmeras têm a função de captar todas as imagens do mundo real que devem ser exibidas pelo display dos óculos. Para que seja exibida a mão virtual, as câmeras devem identificar o marcador fiducial, previamente definido.

Para obter uma ótima qualidade de detecção de vários ângulos de visão, resultantes de diferentes posições do braço, uma forma de marcador cônico foi escolhida. Para movimentação da mão virtual são usados sinais EMG, que são adquiridos por meio de elétrodos fixados no membro residual e ligados no receptor DAQ MindMedia Nexus, conforme demonstrado na Figura 26.

FIGURA 26 - Interface System TAC.



Fonte: BOSCHMANN et al. (2016, p. 02).

A aplicação foi testada em quatro indivíduos com idades e características parecidas. Partindo da avaliação do sistema pelos usuários, chega-se à conclusão que o sistema apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

- Ângulos de visão:

Um dos pontos a se destacar nesse sistema é a possibilidade de vários pontos de vista da mão virtual, permitindo assim a visualização de movimentos em ângulos impossíveis em ambientes em 2D.

- Sistema de feedback para o usuário:

O sistema permite três tipos de movimentação da mão virtual: movimentação lateral, abrir e fechar. Quando o usuário realiza o movimento corretamente a mão virtual fica na cor azul claro. Quando o movimento é quase alcançado, a mão fica na cor azul escuro. Quando o movimento é parcialmente alcançado, a mão fica na cor vermelho claro, quando o movimento é totalmente errado fica na cor vermelha escura.

- Ausência de outros objetos virtuais:

Conforme descrito por vários autores o processo de reabilitação é desafiador para pessoas amputadas. Tarefas simples no dia-dia de pessoas com amputação passam a ser um trabalho árduo. Assim, uma limitação do sistema é simular apenas movimentos laterais, de abrir e fechar a mão virtual. Não existe outra forma de

interação, como por exemplo: pegar outro objeto virtual com a prótese virtual e movimentá-los para lugares determinados.

3.3.2 *ARM Trainer*

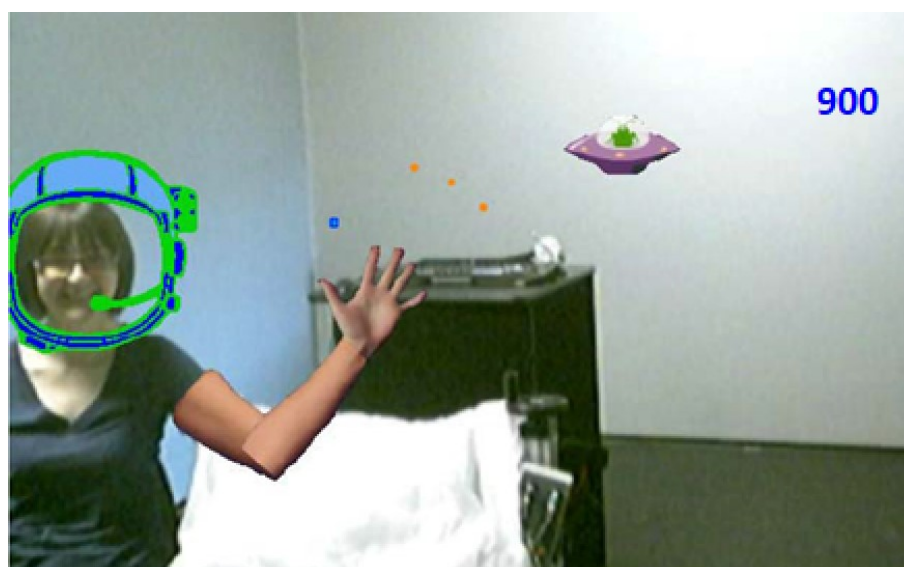
Anderson e Bischof (2014) propõe um trabalho com foco em melhorar o processo de treinamento, a partir de uma interface em RM. O sistema proposto para o treinamento do uso de próteses recebeu o nome de ARM Trainer. Esse sistema tem como uma das principais premissas estimular o usuário em aprender como controlar sua atividade muscular.

O sistema apresenta ao usuário, em tempo real, uma visão de si mesmo, com um braço virtual sobreposto em seu membro residual, por meio de um marcador fiducial.

O sistema possibilita ainda a abertura e fechamento da mão virtual, mas de maneira limitada. Isto porque a animação da mão foi obtida a partir de 24 imagens sequenciais. Outra limitação do sistema é a possibilidade de movimentação em apenas duas dimensões, não permitindo a visualização do braço virtual de outros ângulos. Além disso, o sistema não faz o treinamento com uma prótese virtual.

Apesar das limitações do sistema, os usuários são capazes de controlar o membro virtual, através das contrações musculares, possibilitando-o a se envolver com um jogo, conforme demonstra a Figura 27.

FIGURA 27 - Interface ARM Trainer.



Fonte: ANDERSON; BISCHOF (2014, p. 02).

O sistema é projetado para ser portátil e de fácil uso. O mesmo, envia sinais elétricos de um amplificador EMG Bortec AMT8 para um modelo de um braço virtual, a fim de abrir e fechar a mão virtual. O sistema pode ser executado em qualquer computador que tenha o sistema operacional Windows 7 instalado. Entretanto, o computador deve ter uma câmera instalada e o amplificador de sinais EMG deve ter um mecanismo de calibração automatizado.

Como terapeutas têm tempo limitado com os pacientes, o sistema busca facilidade de uso. Com isso, é possível que usuários levem o sistema para casa, não dependendo exclusivamente da clínica.

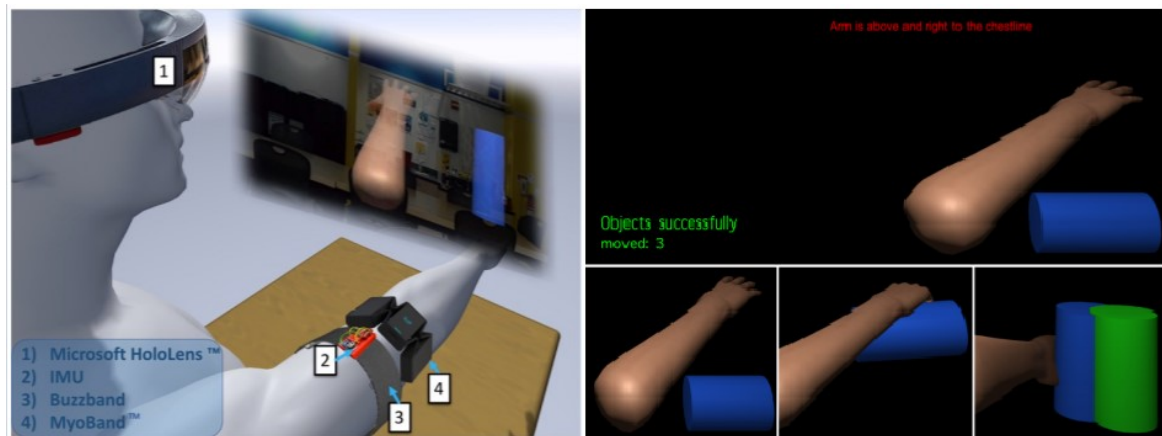
Destaca-se que devido ao envolvimento com o jogo, os usuários, que seriam futuros usuários de próteses mioelétricas, conseguiram realizar treinamentos mais prazerosos, diminuindo o tempo de treinamento. Porém, o trabalho afirma que o feedback do sistema com o usuário teve pouco impacto no treinamento.

3.3.3 HoloPHAM

Sharma et. al. (2018) propõe um ambiente em Realidade Misturada utilizando como interface os óculos Microsoft HoloLens™ para pessoas com amputação de membros superiores, para usuários de próteses mioelétricas, conforme mostra a Figura 28.

Inicialmente, sua cena foi composta por uma visão em primeira pessoa de um braço virtual que foi projetado através dos óculos. Objetos 3D holográficos, em forma de cilindro, apareciam a uma distância alcançável do braço virtual, em diferentes locais e orientações. Basicamente, apenas dois tipos de objetos estão presentes na cena: objeto verde que era o objeto de destino e o objeto azul que era o objeto a ser coletado. Após concluir cada tarefa, uma exibição visual (em texto vermelho) fornece informações posicionais do braço virtual no espaço, em relação ao usuário, dando ao mesmo um feedback visual, facilitando assim o seu aprendizado.

FIGURA 28 - Interface do sistema HoloPHAM.



Fonte: SHARMA et al. (2018, p. 01 e 02).

A aplicação também retorna para o usuário um feedback vibratório por meio do bracelete Myo™, assim que o mesmo executa alguma atividade, como, por exemplo deixar cair um objeto, pegar um objeto dentre outros. Para transmissão dos dados, foi utilizado um adaptador Bluetooth Low Energy. Já os dados inerciais foram transmitidos sem fio para o Microsoft HoloLens™, através de um servidor UDP. O mesmo bracelete Myo™ também foi utilizada para captar os movimentos no braço do usuário servido como sensor e classificador de sinais EMG.

Para fins de teste e avaliação, dois voluntários fisicamente aptos serviram como usuários do sistema. Como critérios de avaliação foram as seguintes métricas: 1) tempo, 2) esforço muscular integrado normalizado, 3) overshoot (ocorrência de um sinal excede seu alvo) e 4) taxa de conclusão.

Foram realizados testes com e sem feedback vibratório. Os testes com feedback vibratório atingiram de 50% a 87,5% de assertividade, já os testes sem feedback vibratórios atingiram 50% a 75% de assertividade.

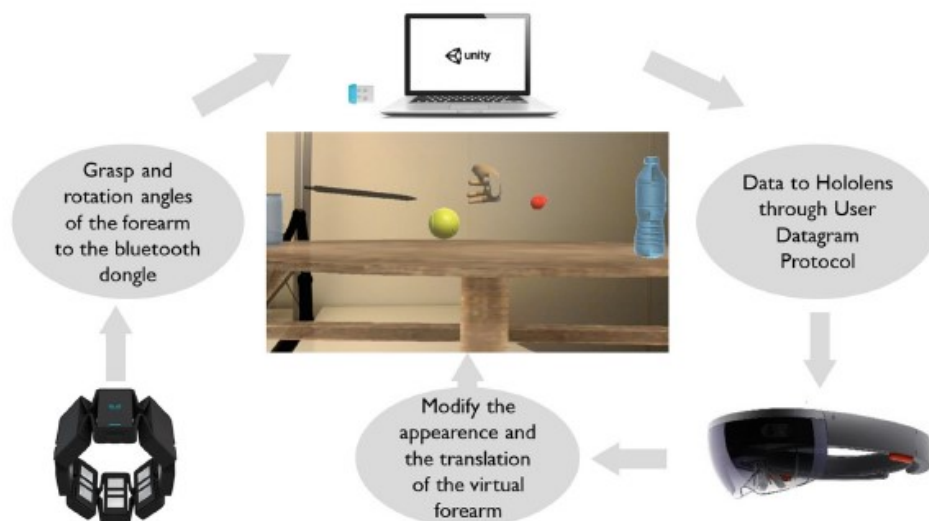
Por fim, dois pontos negativos foram encontrados, são eles: o sistema não utiliza estratégia de jogos sérios e não possibilita o usuário visualizar sua futura prótese em seu coto, pois para manipulação dos objetos não utiliza-se uma prótese virtual e sim uma braço/mão virtuais.

3.3.4 AR_Rehabilitation

Palermo et al. (2019) propõe um sistema em Realidade Misturada utilizando como interface os óculos Microsoft Hololens™ para pessoas com amputação transradial de membros superiores que utilizariam próteses mioelétricas.

O sistema foi projetado para fornecer um feedback visual aos usuários com amputação para fins de treinamento e aquisição de dados. O bracelete Myo™ e o Microsoft Hololens™ trabalhar em paralelo para esse objetivo. Entretanto, o sistema depende de um computador para enviar os dados do bracelete Myo™ para o Microsoft Hololens™, pois o bracelete não envia os dados diretamente para os óculos, conforme mostra a Figura 29.

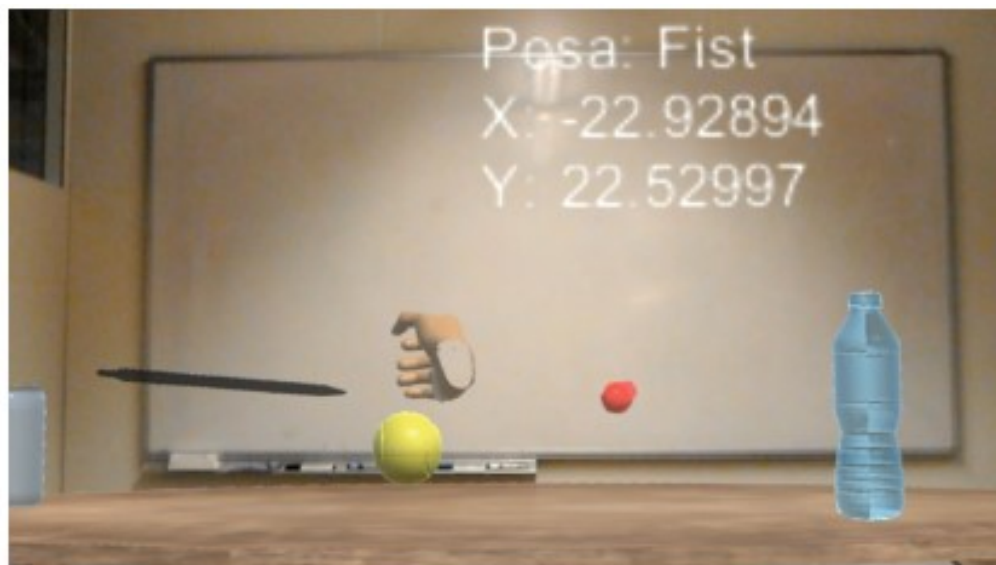
FIGURA 29 - Arquitetura AR_Rehabilitation.



Fonte: PALERMO et al. (2019, p. 9).

A cena inicial da aplicação é composta por uma visão em primeira pessoa de um mão virtual que foi projetada através dos óculos. Objetos 3D holográficos, tais como bolas de tênis, garrafas e canetas aparecem a uma distância alcançável do mão virtual, em diferentes locais e orientações. Além disto, aparecem na tela feedback visuais com as coordenadas X e Y, referente à movimentação em tempo real da mão virtual, conforme mostra a Figura 30.

FIGURA 30 - Interface AR_ Rehabilitation.



Fonte: PALERMO et al. (2019, p. 9).

Usando a mão virtual, o usuário pode mover objetos 3D virtuais e treinar para ativar os músculos certos para cada movimento. A rotação da mão é realizada através de ângulos, adquiridos pela Unidade de Medida Inercial (IMU) do bracelete Myo™. Este bracelete é responsável por determinar a abertura e fechamento da mão virtual. Também através dele o usuário consegue encontrar uma posição adequada para agarrar o objeto desejado.

O sistema foi testado em cinco sujeitos fisicamente aptos do sexo masculino, com idade média de 30. Foi notado que o tempo médio para agarrar um objeto diminui com a prática. Ressalta-se que maior a contribuição do trabalho é dar um feedback visual para amputados durante o treinamento de controle mioelétrico.

Em particular, o sistema não mostra a parte remanescente do amputado, limitando a sensação de posse da prótese.

3.3.5 AR_Rehab

Nogueira et al. (2014) propõe um framework que permite integrar diferentes tecnologias de entrada/saída para sistemas de RV e RM, para treinamento de amputados e pacientes que sofreram um AVC ou que utilizaram próteses de membros superiores.

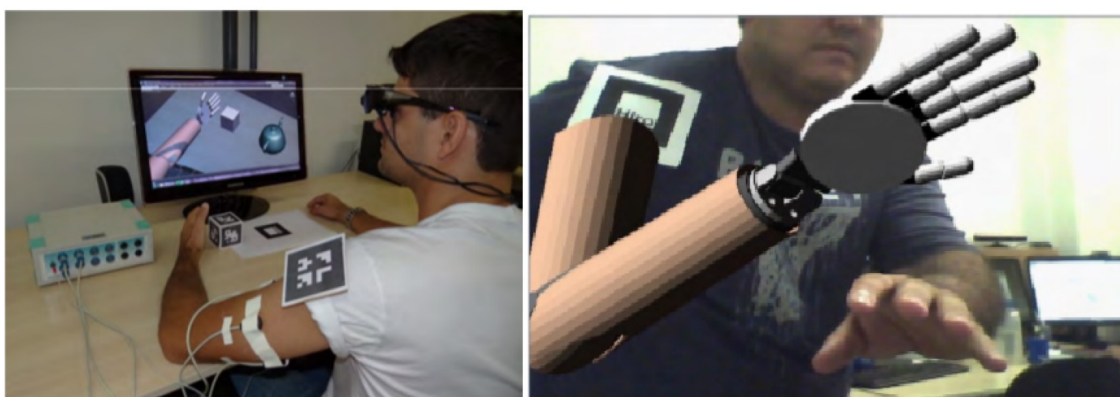
Elétrodos são fixados no braço do usuário para captar seus sinais EMG, provenientes de contrações musculares. Após a captura, os dados são enviados a um

eletromiógrafo, onde são feitas as interpretações das informações extraídas, em tempo real. Em seguida, os dados são enviados para a aplicação de RV ou RM para movimentar o braço virtual do paciente.

No ambiente de reabilitação em RV, o usuário tem por objetivo acertar um alvo, exigindo assim um certo grau de rotação da prótese virtual. Quando o usuário realiza o objetivo é acionado um contador que incrementa o número de acertos do usuário.

No ambiente de reabilitação em RM o usuário deverá realizar as mesmas atividades feitas no ambiente de RV, conforme mostra a Figura 31.

FIGURA 31 - Interface RV x Interface RM.



Fonte: NOGUEIRA et al. (2014, p. 62).

O projeto foi testado por dez indivíduos saudáveis e três terapeutas, onde todos foram capazes de realizar a atividade proposta, utilizando apenas o *feedback* visual.

Os testes em usuários saudáveis foram de suma importância, pois permitiram uma melhor calibração do dispositivo utilizado. O sistema foi novamente validado, sendo aplicado em cinco usuários com capacidade limitada causado por meio de AVC. Nesta nova amostra, os usuários conseguiram atingir uma taxa de acerto de 80%.

Entretanto, o sistema não considera o uso de um jogo sério para manipulação e movimentação de objetos na cena, que seria mais intuitivo para utilização próteses de membros superiores.

A arquitetura proposta em RM assim como a de RV possui a limitação de manipulação de movimentos de cena. Devido à natureza do sistema proposto, outra limitação seria a utilização por apenas futuros usuários de próteses por acionamento mioelétricas, não sendo possível o treinamento de futuros usuários de próteses com acionamento mecânico, por meio de tirantes.

3.4 Estudo comparativo dos trabalhos relacionados

A fim de identificar os principais trabalhos científicos sobre treinamento de amputados de membros superiores, foram utilizadas como palavras chaves nas plataformas *IEEE Explorer*, *Google Scholar* e *ACM Digital Library* os seguintes termos: treinamento, amputação, membro superior, Realidade Virtual, Realidade Misturada, jogos sérios. Reforça-se que estas palavras foram pesquisadas também em língua inglesa, pois a maioria dos artigos científicos nesta área estão em inglês. Foram realizadas pesquisas entre junho de 2017 e julho de 2019.

Com estas palavras chave, foram relacionados 88 artigos. Destes, foram selecionados 8, considerados de maior aderência e relevância ao estudo proposto. Como critério de exclusão foram eliminados trabalhos que não tinham interface 3D. Além disto, foram excluídos trabalhos que não atendiam pelo menos dois quesitos da Tabela 2.

Nesta tabela apresenta-se um estudo comparativo dos trabalhos apresentados neste capítulo. Em geral, foram escolhidos trabalhos para treinamento de futuros usuários de prótese para membros superiores. Para efeito de comparação entre os trabalhos, foram adotados quatro de tipos: Acionamento da Prótese, Interface gráfica, Rastreamento e Treinamento de prótese (ver Tabela 2).

TABELA 2 - Comparação entre os trabalhos relacionados.

| Característica Autor | Tipo de Acionamento da Prótese | | Tipo de Interface Gráfica | | Rastreamento por Imagem | Atividades inspiradas em Jogos Sérios | Treinamento com Captura e movimento de objetos virtuais |
|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------------------|---|
| | Acionamento meio de tirantes | Acionamento por meio Mioelétrico | Realidade Misturada | Realidade Virtual | | | |
| (SOARES et al., 2003) | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| (RESNIK et al., 2011) | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| (CAVALCANTE et al., 2018) | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ |
| (BOSCHMANN et al., 2016) | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| (ANDERSON; BISCHOF, 2014) | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ |
| (SHARMA, et al., 2018) | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ |
| (PALERMO et al., 2019) | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ |
| (NOGUEIRA et al., 2014) | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ |

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Como pode ser observado na Tabela 2, a maioria dos trabalhos relacionados, abordam próteses com acionamento mioelétrico, que exige treinamento bem específico para desenvolvimento das contrações musculares. Já as próteses por acionamento mecânico são pouco abordadas em trabalhos de treinamento. Entretanto, as mesmas também necessitam de treinamentos específicos para sua utilização. Principalmente, aquelas que fazem uso de tirantes, isto porque o usuário irá realizar movimentos considerados não naturais que poderão ser melhorados por meio de treinamento (CARVALHO, 2004). Destaque para o trabalho de Cavalcante et al. (2018) que é o único projetado para utilização de prótese com acionamento mecânico por meio de tirante. Além disso, é muito reduzido o número de sistemas que permitem uma simulação mais realística de movimentos, por suportar movimentação apenas lateral do braço.

Outro aspecto que impacta diretamente no tipo de treinamento do usuário é a interface gráfica. Percebe-se que interface em Realidade Virtual são mais comuns.

Entretanto, sistemas baseados em Realidade Misturada providenciam uma melhor sensação de posse da prótese (*“feeling of ownership”*). Para tanto, a acurácia dos algoritmos de rastreamento precisa ser alta, pois qualquer coordenada incorreta impacta diretamente da fidelidade da aplicação em relação ao mundo real.

Sobre o tipo de treinamento, ressalta-se que todos os trabalhos averiguados proporcionam ao usuário treinamento para abertura e fechamento da prótese. Entretanto, somente três trabalhos (Cavalcante et al. (2018) de RV e Sharma et al. (2018) e Palermo et al. (2019) de RM) apresentaram treinamento utilizando a prótese virtual para movimentação e manipulação de outros objetos virtuais na cena, conforme mostra a Tabela 2. Isto acontece devido à complexidade de desenvolvimento. Em trabalhos de RM tem-se à necessidade de rastrear pelo menos dois marcadores fiduciais ao mesmo tempo. Este rastreamento deve replicar virtualmente ações reais do usuário.

Dos oito trabalhos averiguado neste capítulo, apenas dois trabalhos utilizaram estratégia de jogo (Cavalcante et al. (2018) e Anderson; Bischof, (2014)). Acredita-se jogos sérios aumentem o envolvimento do usuário trazendo melhores resultados em treinamentos (VASEVA, 2014).

3.5 Considerações finais

Diante das características observadas, não foi identificado nenhum trabalho de Realidade Misturada para treinamento de próteses mecânicas, com acionamento por tirantes. Também não se identificou nenhum sistema que possua um ambiente de jogo sério em RM que trabalhe a movimentação e manipulação de objetos virtuais em cena.

Neste contexto, esta dissertação propõe o projeto de uma arquitetura de um sistema computacional que possa suportar estas características, visando um treinamento eficaz para amputados de membro superiores. Esta arquitetura é apresentada no próximo capítulo.

Capítulo 4

Arquitetura do Sistema

4.1 Introdução

Neste capítulo, inicialmente será mostrada a arquitetura física proposta. Em seguida será apresentada toda arquitetura do sistema. Além disto, são detalhados requisitos funcionais e não funcionais do sistema e os diagramas UML (Casos de Uso, Classe e Atividade) utilizados na construção da aplicação.

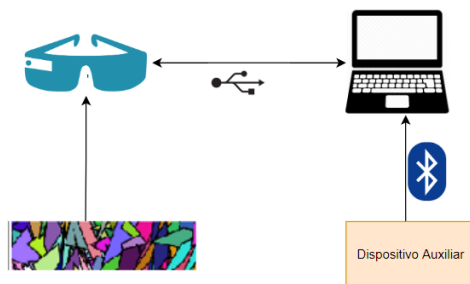
4.2 Arquitetura Física da Aplicação

Para implementar o sistema e validar a arquitetura que está sendo proposta, foram utilizados os seguintes componentes:

- Dois marcadores fiduciais de RM previamente cadastrados;
- Um módulo de aquisição de sinais para abertura e fechamento da prótese virtual. Este módulo também será chamando de dispositivo auxiliar e ficará preso ao braço do usuário;
- Um dispositivo para interface gráfica com webcam (Vuzix® 1200, Microsoft Hololens™ ou monitor).

As Figuras 32 a 37 apresentam a proposta com diferentes dispositivos de interface de saída e seu campo visão.

FIGURA 32 - Arquitetura Física com Vuzix® 1200



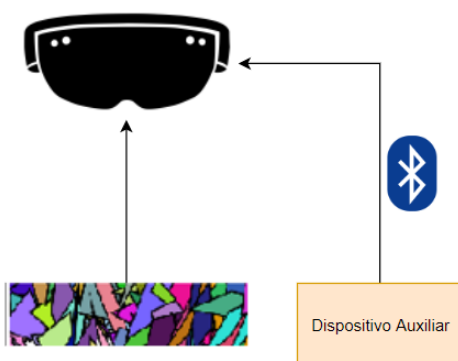
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 33 - Campo de Visão com Vuzix® 1200



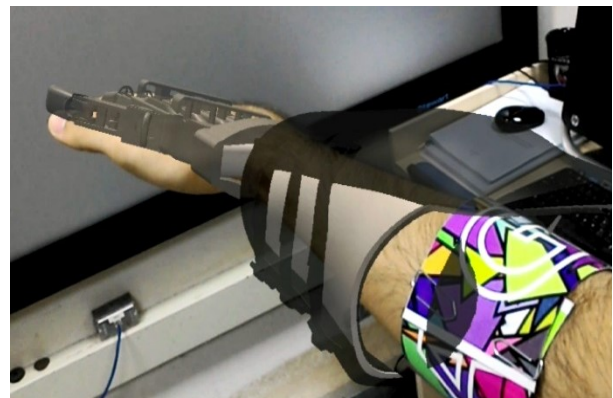
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 34 - Arquitetura Física com Hololens™



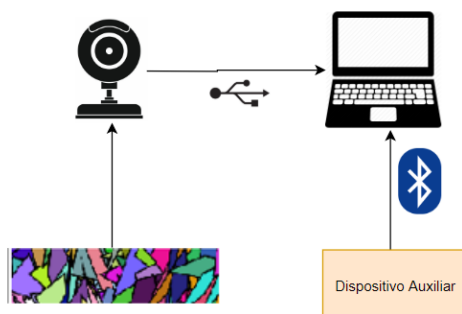
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 35 - Campo de Visão com Hololens™



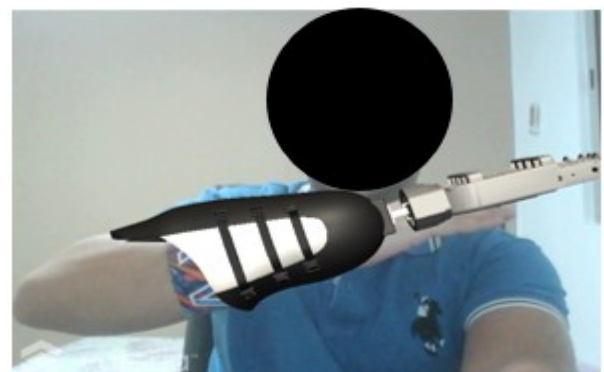
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 36 - Arquitetura Física com monitor



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 37 - Campo de Visão com Monitor

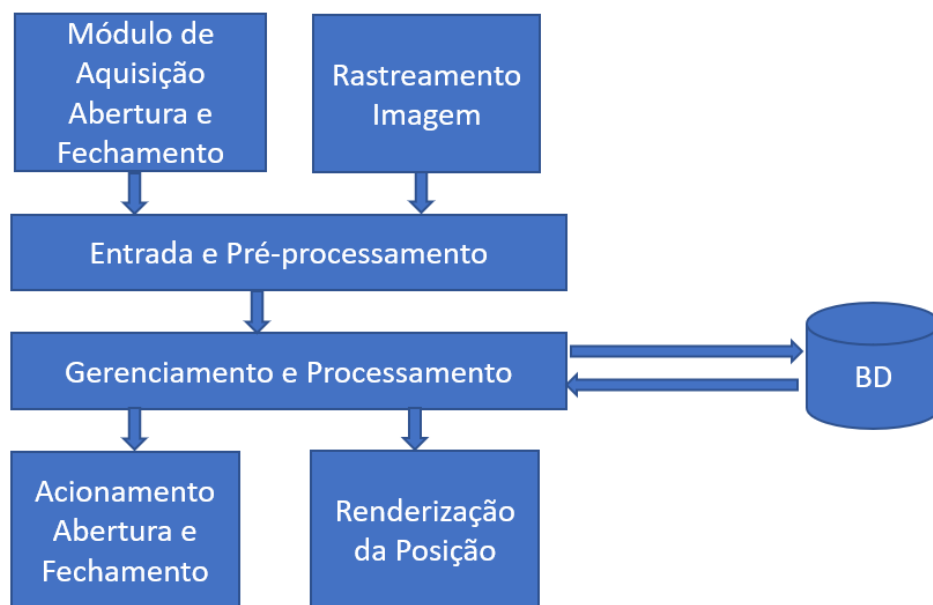


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

4.3 Arquitetura do Sistema

O sistema proposto é composto por sete componentes intercomunicáveis, sendo Aquisição, Abertura e Fechamento, Rastreamento de Imagem, Entrada e Pré-Processamento, Gerenciamento e Processamento, Banco de Dados, Acionamento Abertura e Fechamento, Renderização da Posição. A Figura 38 apresenta tais componentes.

FIGURA 38 - Arquitetura da Aplicação



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

O módulo de aquisição abertura e fechamento é responsável por enviar os dados brutos capturados por um potenciômetro cursor deslizante para aplicação de interface. Esses dados possuem valores entre 0 e 4095 e são processados no módulo de entrada. Paralelamente, o módulo de rastreamento de imagem recebe os dados da câmera presa aos óculos HMD do usuário, detalhando a localização de marcador de RM. Além disso, este módulo rastreia e captura as características poligonais do marcador de RM.

Após a aquisição, é acionado o módulo de Entrada e Pré-processamento que é responsável por normalizar os valores enviados entre 0 e 100 e enviar os dados de posições do marcador de RM e da câmera dos óculos HMD.

No módulo Gerenciamento e Processamento os dados com as características poligonais do marcador são comparados aos dados presentes no Banco de Dados.

Após a validação do marcador, o banco de dados retorna para aplicação o objeto virtual referente ao marcador. Nesse momento, o sistema envia para a interface gráfica o posicionamento para renderização do objeto virtual em cena.

Paralelamente, o módulo de acionamento Abertura e Fechamento envia para a aplicação os dados para determinar o grau de abertura e fechamento da prótese. Ressalte-se que este módulo não depende da renderização para continuar enviando os dados para a aplicação.

4.4 Módulo de Aquisição de Abertura e Fechamento da Prótese Virtual

O Módulo de Aquisição de Abertura e Fechamento da Prótese Virtual também é citado com o nome de dispositivo auxiliar. O mesmo foi desenvolvido pelo Grupo de Realidade Virtual e Aumentada da Universidade Federal de Uberlândia (GVRA). O dispositivo funciona da mesma maneira em todos cenários. A placa ESP 32S NodeMCU é de arquitetura open source que possibilita o acoplamento e funcionamento dos dispositivos. Ela é utilizada como placa mãe do dispositivo auxiliar, ou seja, todos os dispositivos funcionam a partir do software instalado nela. A Figura 39 mostra a placa ESP 32S NodeMCU dentro da caixa que será presa no braço do usuário. Ressalta-se que a caixa foi produzida por uma impressora 3D.

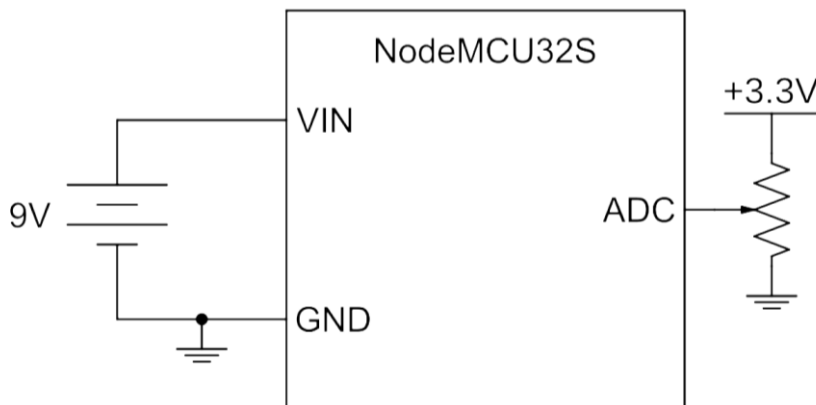
FIGURA 39 - Dispositivo auxiliar.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Os movimentos de abertura e fechamento dos dedos da prótese virtual são controlados por um dispositivo acoplado ao braço do usuário e este dispositivo é dotado de um microcontrolador com interface WiFi e Bluetooth e um potenciômetro de cursor deslizante. A Figura 40 mostra o circuito do dispositivo desenvolvido.

FIGURA 40 - Circuito do dispositivo auxiliar.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

O dispositivo auxiliar desenvolvido é baseado no kit Node MCU 32S, com as seguintes especificações:

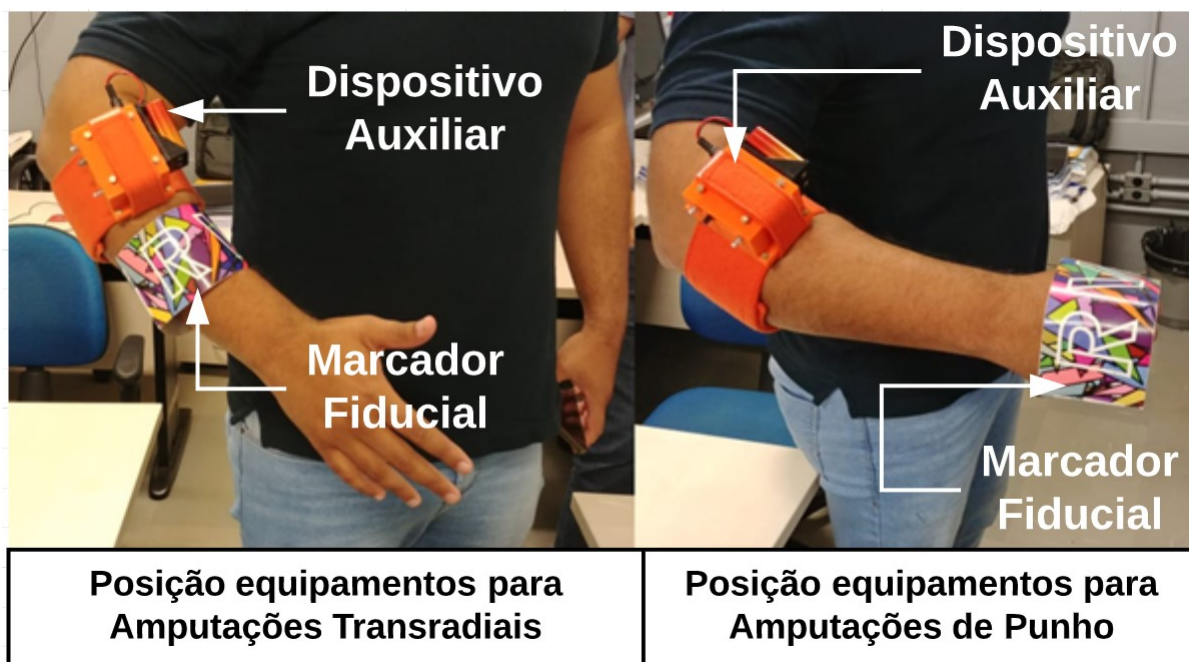
- Wi-Fi 802.11 b/g/n, com velocidade de até 150 Mbps (2.4GHz a 2.5GHz);
- Bluetooth v4.2 BR/EDR e BLE;
- Tensão de Operação: 2.7 a 3.6V;
- CPU: ESP32-D0WDQ6;
- Sistema Operacional: freeRTOS.

A placa ESP 32S Node MCU fica responsável pela comunicação entre o dispositivo auxiliar e/ou computador/óculos. Um potenciômetro cursor deslizante é conectado a uma entrada analógica da placa com resolução de 12 bits, resultando em valores entre 0 e 4095. A média de várias medidas é enviada, periodicamente, à aplicação de Realidade Misturada, por meio de um canal de comunicação serial estabelecido pela conexão Bluetooth.

Uma vez recebidos pela aplicação, os valores são normalizados para o intervalo de 0 a 100, representando a abertura da prótese virtual. Onde zero significa que a prótese está totalmente aberta e cem significa que a prótese está totalmente fechada.

Por fim, lembra-se que dispositivo auxiliar ficará preso no braço do usuário logo acima do marcador de Realidade Misturada cadastrado, conforme mostra a Figura 41.

FIGURA 41 - Dispositivo auxiliar preso ao braço.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.5 Especificação de Requisitos

A engenharia de requisitos é de suma importância no processo de concepção de um software (THAYER, 1997). Nela damos início ao processo de busca e aquisição de requisitos para o desenvolvimento do software, utilizando técnicas e métodos adequados (BELGAMO; MARTINS, 2000).

Para o desenvolvimento do protótipo que denominaremos de MRProsthesis, foram levantados requisitos funcionais e não funcionais. Os requisitos funcionais devem descrever o que o sistema deve fazer, mostrando os serviços que o mesmo deve prover. Já os requisitos não funcionais consistem nas restrições sobre esses serviços e funções oferecidas pelo sistema. (SOMMERVILLE, 2007).

4.5.1 Requisitos Funcionais

A Tabela 3 apresenta os principais requisitos funcionais levantados para o sistema consistem em:

TABELA 3 - Requisitos Funcionais

| Código | Descrição do Requisito |
|---------------|--|
| RF001 | A prótese virtual deve sobrepor o marcador cilíndrico fiducial. |
| RF002 | A aplicação deve receber valores enviados pelo dispositivo auxiliar. |
| RF003 | Objetos virtuais podem ser movimentados com a prótese virtual. |
| RF004 | O movimento de abrir e fechar da prótese deve ser contínuo. |
| RF005 | O sistema deve mostrar informações de pontuação ao usuário. |
| RF006 | O sistema deve acrescentar um ponto de acerto caso objetivo alcançado. |
| RF007 | O sistema deve acrescentar um ponto de erro usuário caso não consiga o objetivo. |
| RF008 | O sistema mostrar informações textuais de feedback no meio da tela. |
| RF009 | Ao final terminar a utilização o sistema retornará a informação de pontuação Final do Usuário. |

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.5.2 Requisitos Não Funcionais

A Tabela 04 apresenta os principais requisitos não funcionais levantados para o sistema consistem em:

TABELA 4 - Requisitos Não Funcionais

| Código | Descrição do Requisito |
|---------------|--|
| RF001 | O sistema deverá se comunicar com o dispositivo auxiliar em tempo real. |
| RF002 | O sistema deverá se comunicar com o banco de dados. |
| RF003 | Mesmo que não tenha renderização da próteses virtual o sistema continuará recebendo dados para abertura e fechamento da prótese. |
| RF004 | O sistema deverá funcionar com pelo 3 interfaces de saída diferentes. |

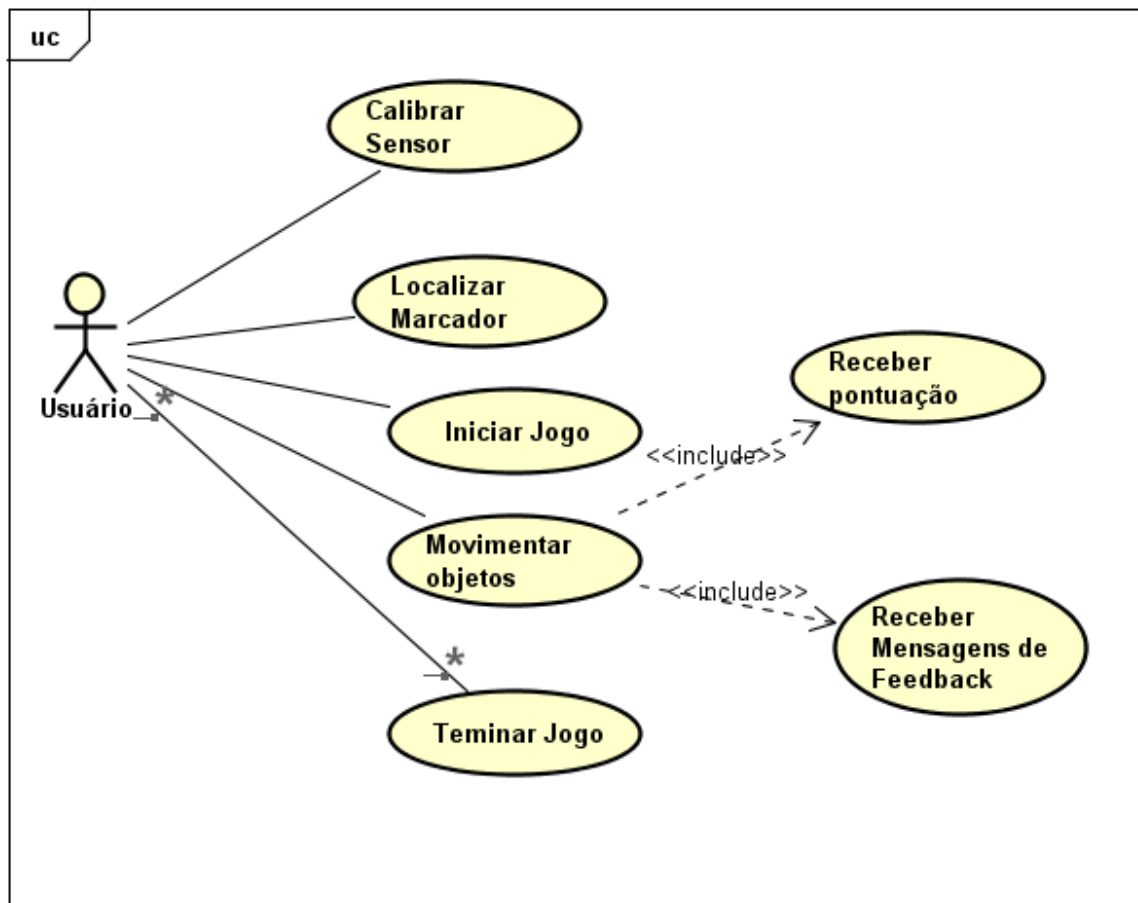
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.6 Diagrama de Caso de Uso

O Diagrama de Caso de Uso representa as funcionalidades do sistema (requisitos funcionais do sistema) e os elementos externos ao sistema que interagem com ele. Ele é composto pelos elementos Ator, Casos de Uso e interação (PRESSMAN; MAXIM, 2016).

Na Figura 42, será apresentado o diagrama de caso de uso principal do sistema de treinamento para amputados de membros superiores.

FIGURA 42 - Diagrama de Caso de Uso.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.6.1 Descrição do Ator

O ator do sistema e suas atribuições podem ser vistos na Figura 40. Considerando que o sistema possa atuar com a ferramenta de auxílio de treinamento para usuários amputados. Ressalta-se que o único ator que irá trabalhar diretamente como o sistema será o usuário, conforme mostra a Tabela 5.

TABELA 5 - Ator do Sistema

| Nome | Descrição | Atribuições |
|---------|---|---|
| Usuário | Pessoa realizará os testes de validação do sistema. | <ul style="list-style-type: none">• Solicitar instanciar um novo objeto na cena• Realizar o movimento de abrir e fechar a prótese virtual para pegar objeto na cena.• Realizar movimentação de objetos de um ponto inicial e levar até o ponto final. |

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.6.2 Descrição do Caso de Uso

A seguir, são descritos os Casos de Uso, levando em consideração, o ator principal, pré-condição, fluxo e a pós-condição (Tabelas 6 até 13).

TABELA 6 - Descrição Caso de Uso Calibrar Sensor

| | |
|----------------|---|
| Caso de Uso | Calibrar Sensor |
| Ator Principal | Usuário |
| Descrição | Possibilita o usuário calibrar os sensores do equipamento |
| Pré-condição | Utilizar o equipamento |
| Fluxos | 1- Colocar o braço apontado para baixo; 2 - Levantar o braço em 90 graus |
| Pós-Condição | Sistema calibrado |

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

TABELA 7 - Descrição Caso de Uso Localizar Marcador

| | |
|----------------|---|
| Caso de Uso | Localizar Marcador |
| Ator Principal | Usuário |
| Descrição | Possibilita o usuário iniciar os objetos virtuais presentes na cena. |
| Pré-condição | Sistema Calibrado |
| Fluxos | 1 - Ler a mensagem inicial na tela 2 - Observar fixamente para o marcador de RA principal da cena; 3 - Aguardar para as instruções sumirem da tela 4 - Aguardar 2 segundos para objetos iniciarem. |
| Pós-Condição | Objetos iniciados: <ul style="list-style-type: none"> • Prótese • Cubo Play Azul • Alvo Inicial X; • Alvo Final Vermelho; |

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

TABELA 8 - Descrição Caso de Iniciar Jogo

| | |
|----------------|--|
| Caso de Uso | Iniciar Jogo |
| Ator Principal | Usuário |
| Descrição | Permite o usuário iniciar o jogo, instanciando os objetos virtuais que será manipulado em seu devido lugar; |
| Pré-condição | Objetos iniciados |
| Fluxos | 1- Encosta a prótese virtual no cubo Play Azul; 2- Aguarda o Cubo Play ficar verde; 3- Em seguida o objeto aparece na posição do Alvo inicial X; |
| Pós-Condição | Manipular objetos |

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

TABELA 9 - Descrição Caso Manipular Objetos

| | |
|----------------|--|
| Caso de Uso | Manipular objetos |
| Ator Principal | Usuário |
| Descrição | Permite ao usuário manipular objetos virtuais levando do ponto inicial até o ponto final |
| Pré-condição | Inicia Jogo |
| Fluxos | 1- Utilizar o dispositivo de rastreamento como dispositivo de entrada, para manipular a prótese virtual de acordo com o grau de liberdade permitido. |
| Pós-Condição | Receber Pontuação |

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

TABELA 10 - Descrição Caso de Uso Receber Pontuação

| | |
|----------------|---|
| Caso de Uso | Receber Pontuação |
| Ator Principal | Usuário |
| Descrição | Permite ao usuário receber um feedback visual da pontuação; |
| Pré-condição | Manipular objetos |
| Fluxos | 1- Caso acertos; 2- Caso erros; |
| Pós-Condição | Fechar sistema |

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

TABELA 11 - Descrição Caso de Uso Acertos

| | |
|----------------|---|
| Caso de Uso | Acertos |
| Ator Principal | Usuário |
| Descrição | Permite ao usuário receber um feedback visual da pontuação; |
| Pré-condição | Manipular objetos |
| Fluxos | 1- Caso o objeto chegue ao ponto de destino recebe o ponto de acerto; 2- Recebe feedback com a palavra "Parabéns", após 2 segundos ela desaparece. |
| Pós-Condição | Inicia Jogo |

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

TABELA 12 - Descrição Caso de Uso Erros

| | |
|----------------|--|
| Caso de Uso | Erros |
| Ator Principal | Usuário |
| Descrição | Permite ao usuário receber um feedback visual da pontuação; |
| Pré-condição | Manipular objetos |
| Fluxos | 1- Caso o objeto chegue ao ponto de destino recebe o ponto de erro; 2- Recebe feedback com a palavra “Atenção ao manuseio do objeto”, após 2 segundos ela desaparece. |
| Pós-Condição | Inicia Jogo |

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

TABELA 13 - Descrição Caso de Uso Fechar Sistema.

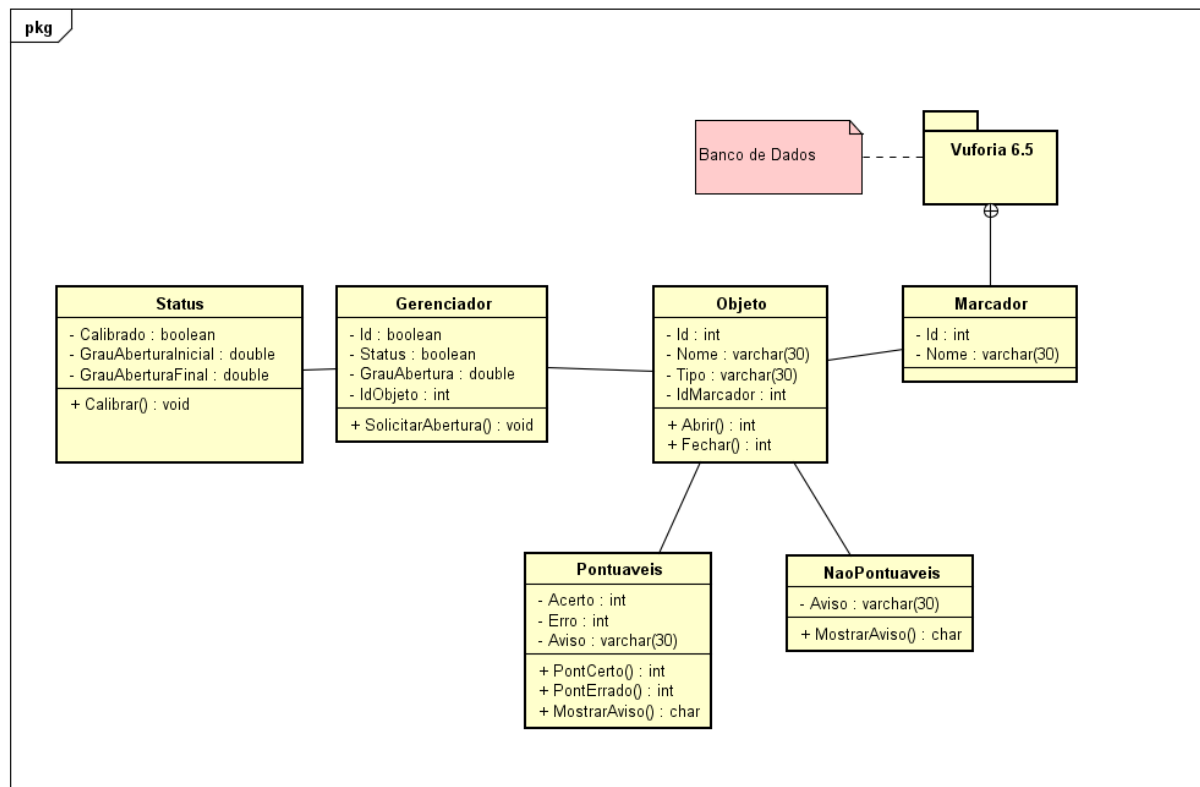
| | |
|----------------|--|
| Caso de Uso | Fechar Sistema |
| Ator Principal | Usuário |
| Descrição | Permite ao usuário receber um feedback visual da pontuação; |
| Pré-condição | Manipular objetos |
| Fluxos | 1- Ao final de 10 sessões o usuário recebe o feedback final no centro da tela; |
| Pós-Condição | - |

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.7 Diagrama de Classe

Nesta seção, será apresentado o Diagrama de Classes do sistema que representa a modelagem da parte estática, representando um conjunto de classes com seus atributos, operações e relacionamentos. O objetivo do Diagrama de Classes é permitir a visualização das classes utilizadas pelo sistema e como estas se relacionam (PRESSMAN; MAXIM, 2016). A Figura 43 apresenta as principais classes utilizadas no sistema, bem como seus atributos.

FIGURA 43 - Diagrama de Classe.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

A classe Objeto é responsável por instanciar os objetos 3D a serem manipulados na cena. Cada objeto 3D pode pertencer a classe pontuável ou não pontuável. Objetos da classe pontuável, são responsáveis por quantificar as pontuações de acerto e erros. Já os objetos da classe não pontuáveis são responsáveis apenas por avisos de feedback para o usuário. Estes objetos são a prótese virtual, Cubo Play, Alvo Inicial, Alvo Final e Cilindro Azul.

A classe Marcador é responsável por acessar a API Vuforia 6.5 que em seguida consulta o banco de dados e retorna qual objeto 3D pertence aquele marcador fiducial.

Ao iniciar a aplicação a classe Status é acessada, neste momento são gravados os dados de abertura e fechamento para calibração do dispositivo.

Por fim, a classe Gerenciador faz o elo de ligação entre as classes Marcador e a Classe Objeto. Fazendo prótese virtual receber os dados responsável pela abertura e fechamento.

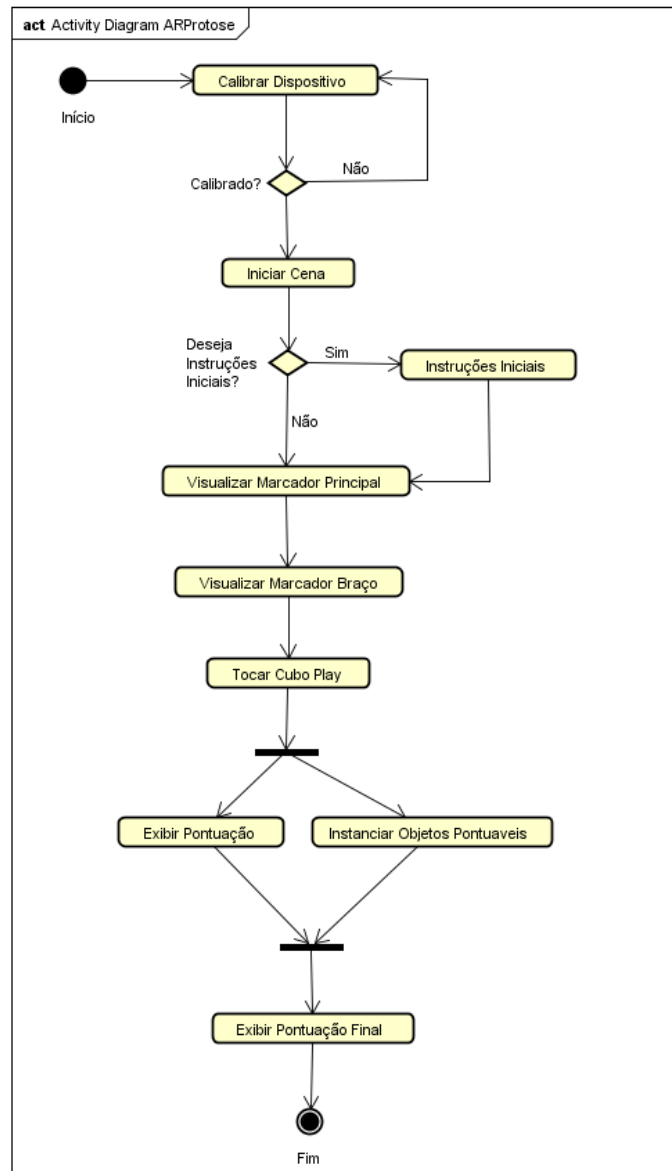
4.8 Diagrama de Atividade

Nesta seção, será mostrado o Diagrama de Atividades UML do sistema MRProsthesis. Este diagrama visa ilustrar graficamente como será o funcionamento e comportamento das rotinas executadas pelo software, melhorando assim o nível de abstração do desenvolvedor (PRESSMAN; MAXIM, 2016).

Ao iniciar o sistema, o usuário deve calibrar seu dispositivo auxiliar que será responsável pela abertura e fechamento da prótese. Após a calibração o usuário receberá instruções no centro da tela, pedindo-o olhar no marcador fiducial responsável pela renderização dos objetos virtuais da cena. Cumprida esta etapa, o usuário deve olhar para o marcador fiducial fixado em seu braço, até que a prótese apareça sobre o marcador. Em seguida o sistema exibirá o quadro de pontuação iniciados com acertos e erros em zero.

Após esta etapa, os objetos que poderão ser manipulados serão instanciados na tela. A partir deste momento, o usuário poderá manipular os objetos de acordo com sua vontade. Depois de manipular dez objetos virtuais o sistema é encerrado. Veja na Figura 44 o fluxo de atividades realizadas pelo usuário na utilização.

FIGURA 44 - Diagrama de Atividades.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Por fim, após a visualização do diagrama de atividades fica evidenciado como será o fluxo de funcionamento do sistema.

4.9 Considerações Finais

Este capítulo apresentou toda estrutura na qual se baseou a construção do protótipo. Foram detalhados requisitos funcionais e não funcionais, as arquiteturas lógica e física, além dos 3 diagramas da UML que forma necessários para o desenvolvimento do protótipo MRProsthesis.

Capítulo 5

Detalhes da Implementação

5.1 Introdução

Este capítulo, inicialmente, apresenta os detalhes do desenvolvimento e implementação da aplicação. Em seguida detalha todo seu processo de funcionamento do protótipo.

5.2 Implementação do Sistema

Para o desenvolvimento do protótipo MRProsthesis foram utilizados os seguintes softwares: Autodesk Fusion 360, 3D Studio Max, Unity Personal versão 2017.4.1 juntamente com API Vuforia 6.5 e a IDE Microsoft Visual Studio 2017. Com a definição das ferramentas e do escopo do sistema de treinamento misturado, iniciou-se o desenvolvimento. O primeiro passo se deu a partir da utilização de um modelo de prótese virtual existente do projeto de impressão de prótese 3D mecânicas de baixo custo.

O modelo virtual foi desenvolvido pela equipe de modeladores do Grupo de Realidade Virtual e Aumentada da Universidade Federal de Uberlândia (GVRA). O modelo foi desenvolvido utilizando Autodesk Fusion 360 e possuía grande riqueza de detalhes, contendo 3.126.000 polígonos. Este nível de detalhamento era muito grande e inviabilizava o processo de desenvolvimento, pois esta grande quantidade de polígonos atrapalha a velocidade de renderização da prótese em tempo real. A Figura 45 mostra o modelo 3D da prótese virtual.

FIGURA 45 - Modelo virtual da prótese



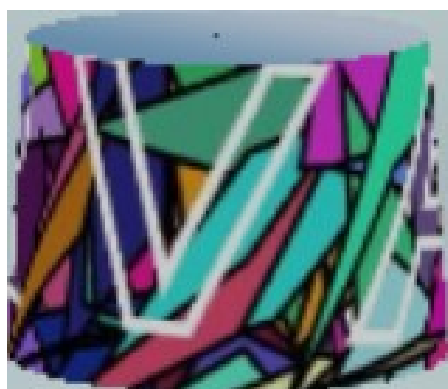
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Utilizando a ferramenta de modelagem 3D Studio Max Autodesk foi possível otimizar o objeto diminuindo a quantidade de polígonos para aproximadamente 360.000, sem impactar diretamente na qualidade visual do objeto. Com isso o processo de renderização aconteceu 3 vezes mais rápido que anteriormente.

Os óculos ou monitores funcionam com display e são responsáveis pela interface gráfica da aplicação junto ao usuário ou seja, eles são responsáveis por mostrar a renderização da prótese virtual feita pelo computador. Nele, visualiza-se o ambiente misturado. Para que a prótese seja visualizada pelo usuário junto ao braço é necessário que ele utilize um marcador. Este marcador serve como ponto de fixação para a prótese virtual. Sendo assim, a qualidade do marcador impacta diretamente na performance da aplicação, pois quanto maior a qualidade melhor é seu rastreamento.

Devido a anatomia do braço humano, percebeu-se que a utilização do marcador de forma cilíndrica contribuía para o movimento de rotação da prótese virtual. A Figura 46 mostra o marcador na forma cilíndrica utilizado.

FIGURA 46 - Marcador Cilíndrico.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Para acionar o dispositivo de rastreo preso junto ao braço do foi utilizado o modelo de tirante 21A36=1 criado pela empresa Ottobook® que é adequado para pessoas que possuem amputação de membro superiores(Figura 47).

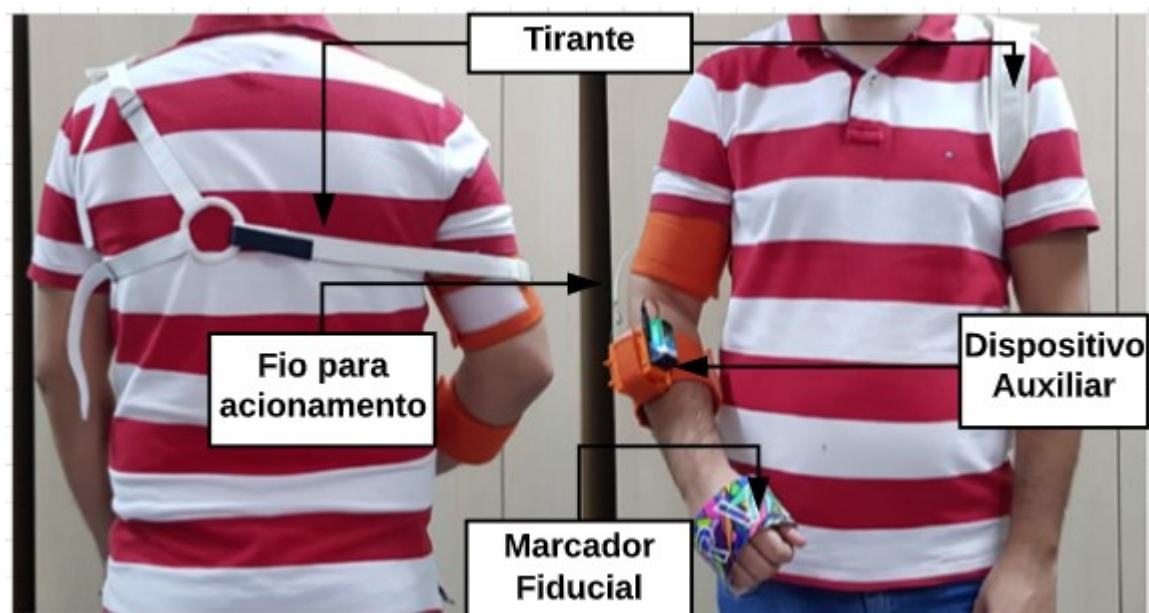
FIGURA 47 - Usuário com o tirante 21A36=1 Ottobook.



Fonte: OTTOBOOK® (2016).

Assim que a instalação do tirante for terminada, o usuário pode movimentar o ombro oposto a prótese, exercendo assim força no fio que está conectado ao potenciômetro deslizante, disparando o mecanismo de o abrir e fechar da mão da prótese virtual (Figura 48).

FIGURA 48 - Usuário com o tirante 21A36=1 Ottobook®.



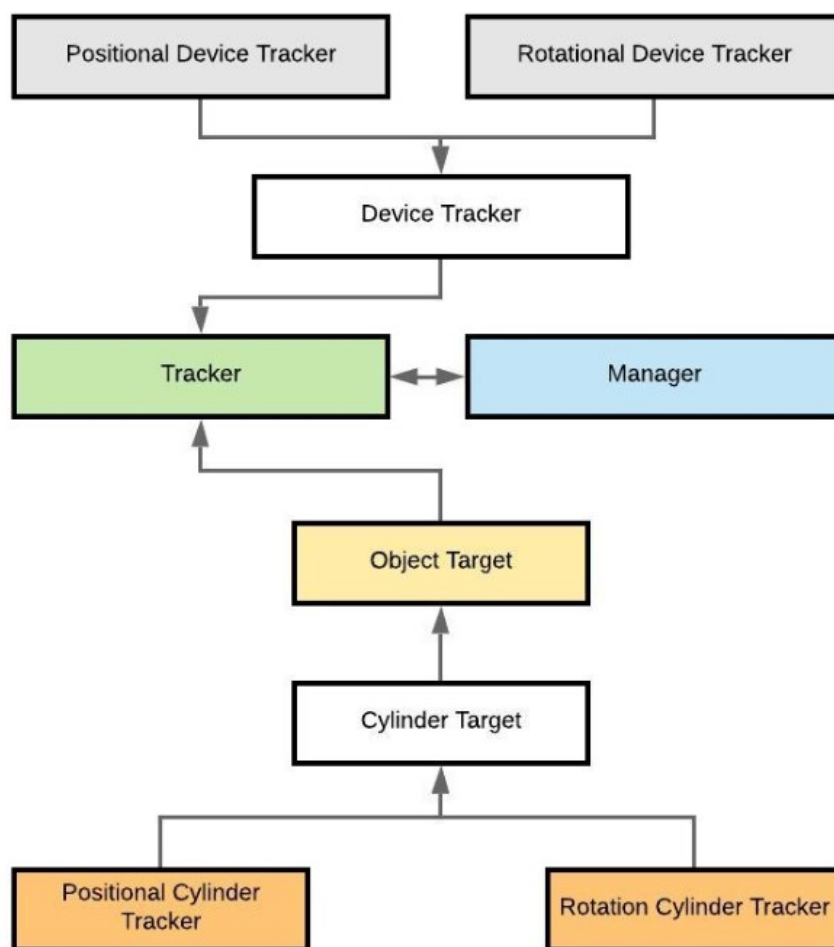
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

5.3 Rastreamento do marcador fiducial

Para o rastreamento do marcador fiducial utilizou-se a API Vuforia 6.5, entretendo pode-se utilizar outras API's disponíveis no mercado para rastreamento, pois a arquitetura suporta outros tipos de API's de rastreamento.

Todavia, a API Vuforia 6.5 proporcionou a aplicação o rastreamento do braço do usuário, fazendo a prótese virtual se movimentar de acordo com a vontade do usuário, assim propiciando a sensação de posse da prótese. Isto é feito por meio de seu algoritmo de gerenciamento de pontos em tempo real. Este algoritmo compara os quadros de imagens recebimento pela câmera com os presentes no bancos de dados. Isto é feito por meio de seu gerenciador de Destino em tempo real. A Figura 49, mostra o processo de rastreio.

FIGURA 49 - Fluxo de Rastreamento Vuforia



Fonte: VUFORIA (2018)

Outra técnica utilizada pelo Vuforia para melhorar o rastreamento é a exploração de detecção de bordas. Através dela quanto mais vértices ou linhas na imagem de alto contraste tiver, melhor será a classificação do marcador.

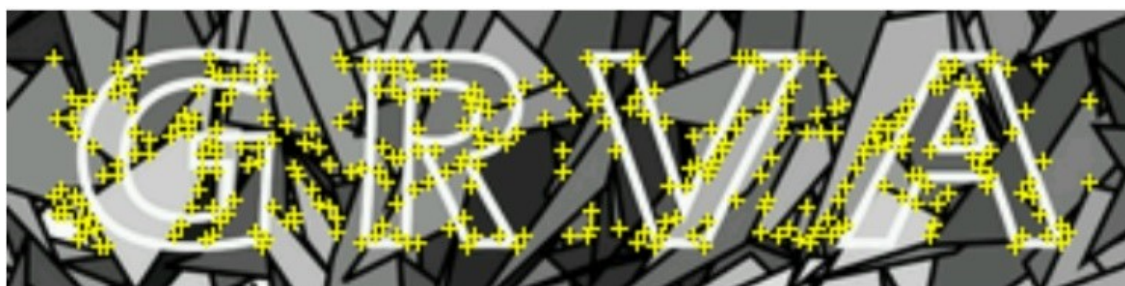
Um marcador de péssima qualidade é avaliado com zero estrelas(péssimo para rastreio) e o de máxima qualidade possui 5 estrelas (ótimo para rastreio). Entretanto para construção do um marcador 5 estrelas foi considerado ainda os seguintes critérios: rico em detalhes, bom contraste, sem padrões repetitivos. Baseado nas técnicas e no sistema de avaliação apresentado, foi possível construir um marcador ótimo rastreamento, conforme mostra as Figuras 50 e 51.

FIGURA 50 - Marcador Original.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 51 - Pontos rastreados no marcador.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Entretanto, além no marcador, outros pontos que devem ser ajustados para conseguir um melhor rastreamento. São eles:

- Condições de iluminação: O rastreamento consegue sua máxima eficiência em ambientes internos e bem iluminados. Então a aplicação só foi testada em ambientes com condições de luz ideais.
- Foco da câmera: Se o alvo não estiver bem focado na visão da câmera, os detalhes do alvo podem ser difíceis de detectar, impactando a qualidade do rastreamento.

- Brilho: Alvos impressos em papéis propícios à reflexão de luz não são aconselhados. Com isso, optou-se por um papel anti-reflexivo.

Além dos pontos citados, na versão para implementação no Microsoft Hololens™ deve-se respeitar rigorosamente as escalas reais de tamanho dos objetos virtuais e marcador RM, pois qualquer erro nas escalas faz os objetos aparecerem muito grandes ou distantes de seu marcador fiducial. Ressalta-se que as escalas utilizam como base o Sistema Internacional de Medidas.

Retomando o assunto sensação de posse da prótese e levando em consideração escalas reais do objeto, antes de iniciar a aplicação a prótese virtual deve ser dimensionada para que se encaixe no braço do usuário. Aumentado assim o realismo de cada movimento.

Por fim, é importante lembrar que a API do Vuforia não é uma biblioteca de código aberto, portanto, seu código de reconhecimento e rastreamento não é revelado, sendo de propriedade intelectual da PTC™.

5.4 Funcionamento do Sistema

Como explicado anteriormente, o protótipo proposto foi projetado para auxiliar no treinamento de pessoas com amputação em membros superiores. Este protótipo é um ambiente em Realidade Misturada, onde o usuário pode abrir e fechar a prótese por meio de movimentos mecânicos com acionamento por meio de tirantes. Além desse movimento, o usuário poderá movimentar objetos pré-determinados pelo sistema de um ponto até outro.

Inicialmente, o usuário deve vestir os equipamentos necessários para realizar os movimentos mecânicos. Lembra-se que o sistema é versátil e pode funcionar em três interfaces diferentes (óculos Microsoft Hololens™, Vuzix® 1200 ou diretamente com a webcam e monitores).

Além do dispositivo de saída de imagem, o sistema necessita de um marcador de RM e de um mecanismo de controle para acionamento de abrir e fechar a prótese. A Figura 52 mostra a visão da prótese virtual sobre o braço do usuário a partir do dispositivo de saída Microsoft Hololens™.

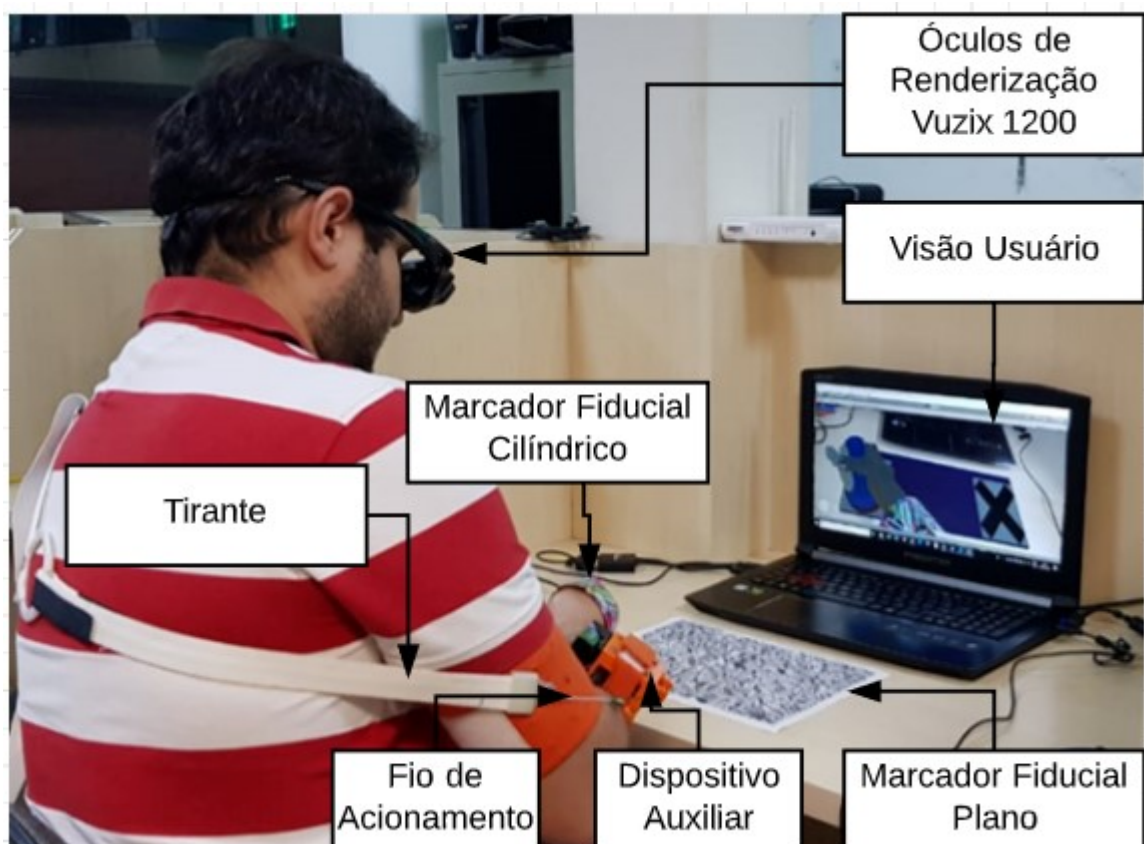
FIGURA 52 - Prótese Virtual sobre o marcador fiducial.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

O sistema MRProsthesis também pode ser manipulado utilizando o dispositivo interface de saída Vuzix 1200, conforme mostra a Figura 53. Detalhe de sua utilização são descritos a seguir.

FIGURA 53 - Manipulação de objetos utilizando o Vuzix



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

5.5 Utilização do Sistema MRProsthesis

Lembra-se que a interface gráfica é baseada em jogos sérios, então várias atividades propostas pelo sistema recebem pontuação de acerto ou erro. Diante disto, ao iniciar a cena, aparece uma mensagem de orientação ao usuário dizendo “Olhe para o marcador em seu braço. Abra e feche a prótese virtual”. A Figura 54 mostra a prótese virtual totalmente fechada.

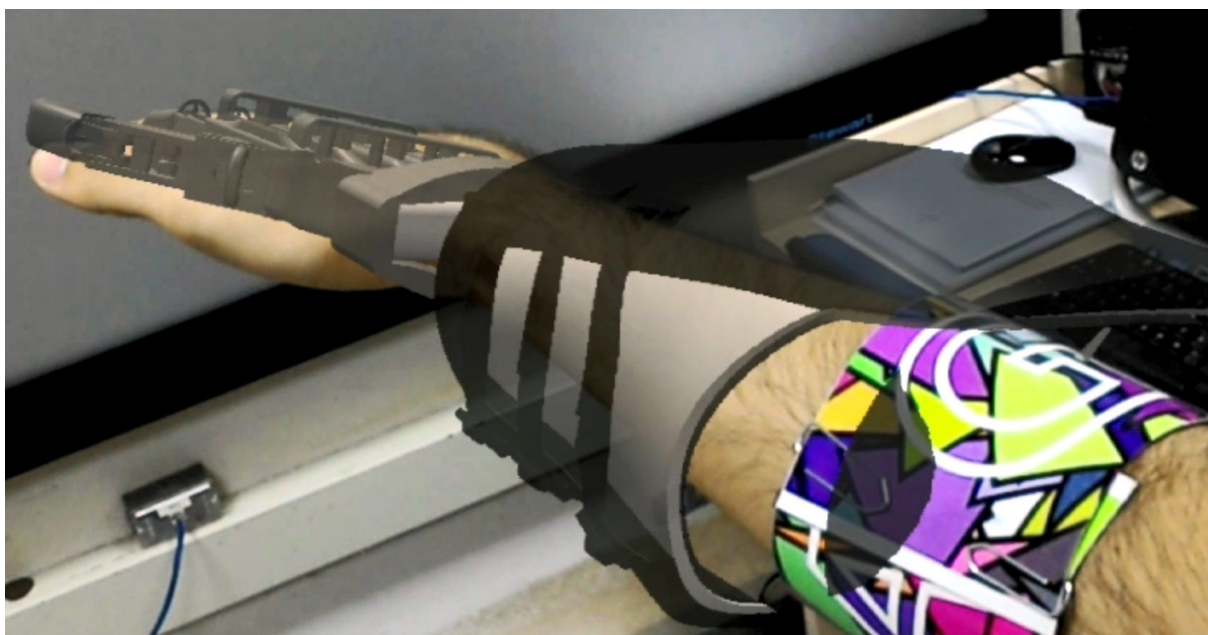
FIGURA 54 - Prótese Virtual Fechada



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Ao olhar para o marcador fixo em seu braço, o usuário consegue visualizar a prótese virtual. Com isso, o usuário consegue visualizar todo processo de movimentação da prótese virtual por ele ordenado, incluindo o movimento vertical e horizontal, conforme mostra a Figura 55.

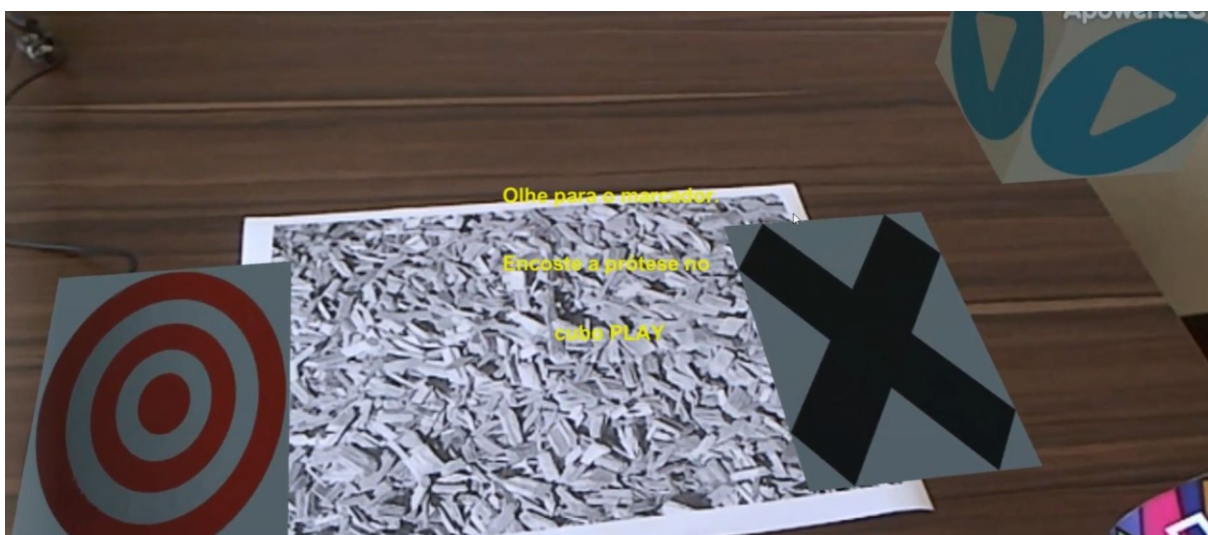
FIGURA 55 - Prótese Virtual sobre o braço.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Em seguida, aparece outra mensagem para o usuário dizendo “Olhe para o marcador sobre a mesa. Encoste a prótese no cubo Play”. Ao realizar esse movimento, o sistema é iniciado (Figura 56).

FIGURA 56 - Início do treinamento.



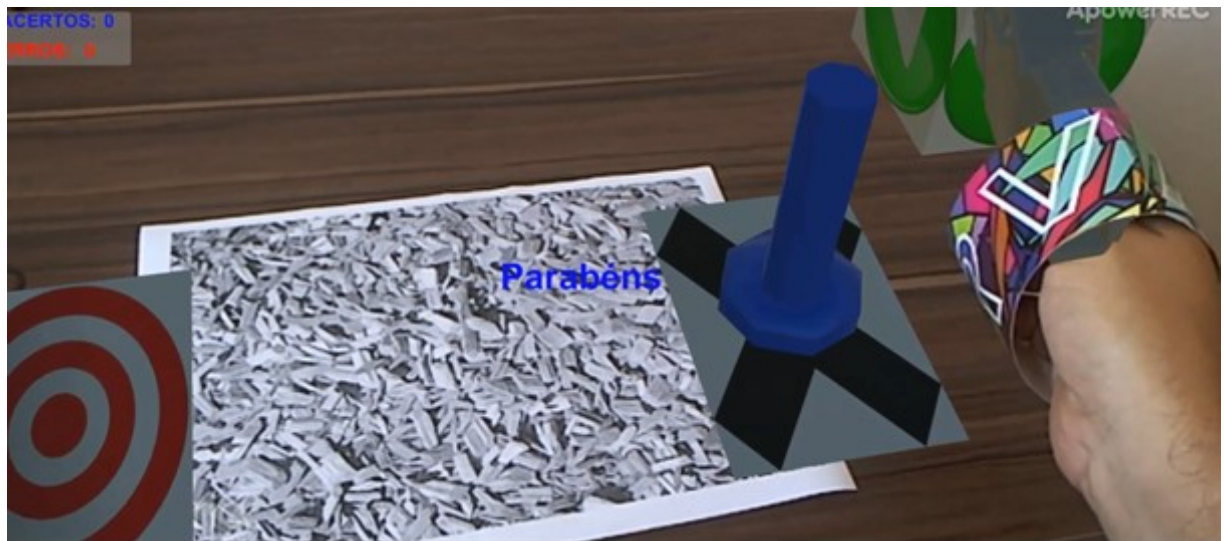
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Ao tocar no cubo Play Azul pela primeira vez com a prótese virtual, ele muda sua coloração para verde, conta dois segundos e desaparece. Além disto ele ativa:

- O objeto a ser movimentado na cena;

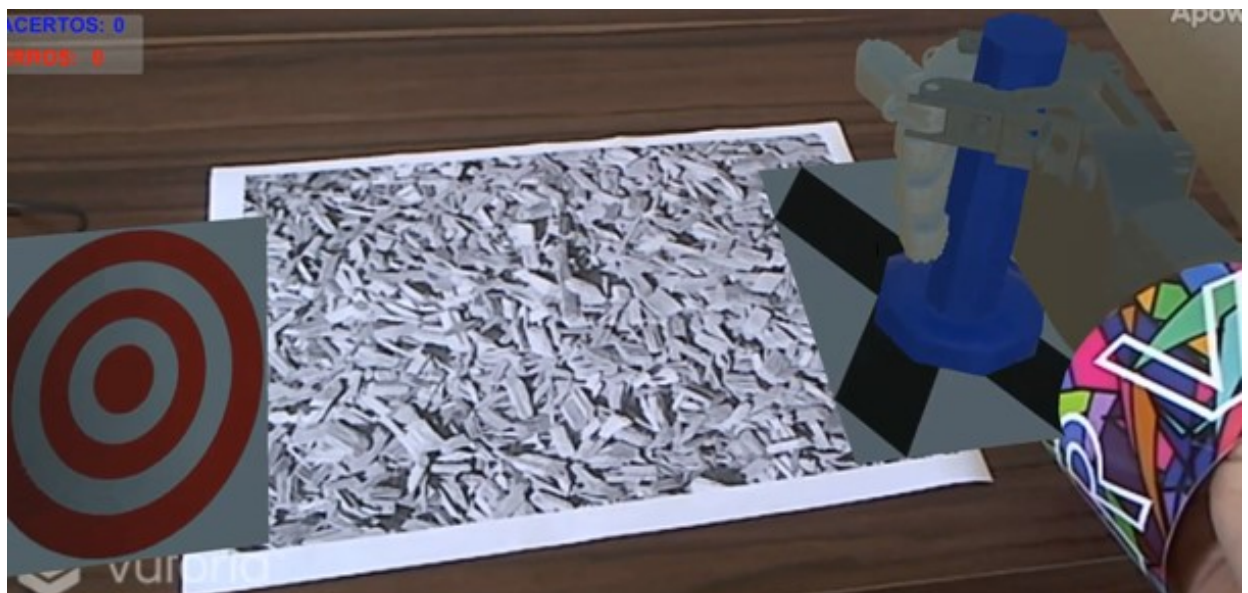
- O sistema de pontuação no canto esquerdo superior no qual é medido a quantidade de acertos e erros;
- Mostra o feedback com a palavra “Parabéns”, que desaparece logo após dois segundos (Figuras 57 e 58).

FIGURA 57 - Interface do Sistema



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 58 - Usuário pegando a objeto.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

A partir deste ponto o usuário já é capaz de movimentar a prótese. Quando o usuário pega o objeto com a prótese e leva até o alvo de destino, ele ganha um ponto no acerto. Ao conseguir atingir seu objetivo o usuário recebe uma mensagem de

feedback com a palavra “Parabéns”, após dois segundos a palavra e o objeto movido desaparecem. Além disso o ponto de destino (alvo vermelho) muda para preto conforme demonstra a Figura 59.

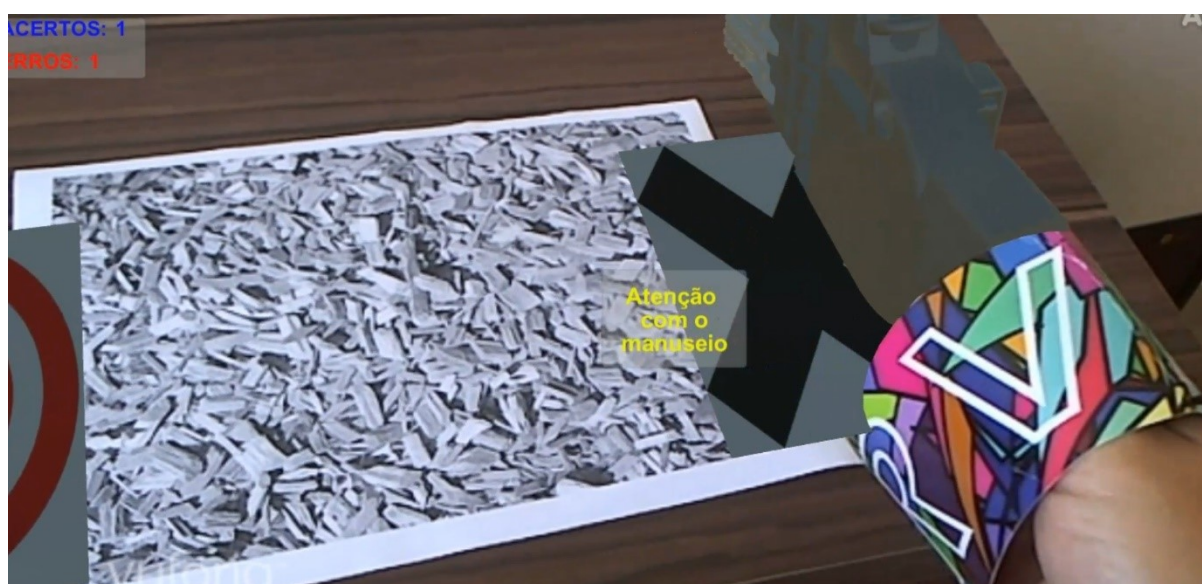
FIGURA 59 - Ponto de Destino no Objeto.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Caso o usuário deixe cair o objeto antes do ponto de destino (alvo vermelho) o sistema emitirá um aviso de feedback com a frase “Atenção com o Manuseio”, conforme mostra a Figura 60.

FIGURA 60 - Erro de manuseio.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Ao finalizar o exercício aparece novamente o cubo Play Azul para pedir um novo objeto. Ao final de 10 ciclos de treinamento, aparece na tela a quantidade de acertos e erros do usuário, conforme mostra a Figura 61.

FIGURA 61 - Tela Final



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

5.6 Considerações Finais

Neste capítulo, foram apresentados todos os detalhes do desenvolvimento e da implementação do sistema MRProsthesis. Além de detalhar todo seu processo de funcionamento do protótipo.

Capítulo 6

Resultados e Discussão

6.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados inicialmente os métodos aplicados nesta pesquisa. Em seguida são apresentados os resultados obtidos na pesquisa através do uso do protótipo denominado MRProsthesis.

6.2 Métodos aplicados na pesquisa

Esta pesquisa está relacionada ao projeto “Correlatos neurais associados a adaptação e aprendizagem motora” que está registrado na Plataforma Brasil do Ministério da Saúde, sob o CAAE: 60910916.0.0000.5152, tendo como Pesquisador Responsável o Professor Dr. Alcimar Barbosa Soares.

Podemos classificar esta pesquisa como exploratória, com resultados qualitativos e quantitativos.

Exploratória, devido ao grande levantamento bibliográfico sobre o tema de estudo, a fim de aprofundar o conhecimento sobre o tema estudo e torná-lo mais explícito.

Qualitativa “pois não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social”. (GERHARDT e SILVEIRA, 2009)

Quantitativa, devido ao uso de questionários que produzem resultados quantificados.

Serão detalhados a seguir, o processo de escolha da amostragem da população.

6.2.1 Amostra da população

Para avaliar a aceitação do sistema de Realidade Misturada junto a profissionais da área, o software foi testado com 7 fisioterapeutas registrados ao Conselho Regional de Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Primeira Região. A escolha desta amostra aconteceu em função do caráter da pesquisa, e servirá como prova de conceito para a arquitetura. Por se tratar de uma prova de conceito optou-se por realizar testes apenas com fisioterapeutas.

Os testes aconteceram nas clínicas onde os fisioterapeutas/usuários atuam profissionalmente. Em todos locais havia uma sala disponível para montagem do equipamento.

Cada fisioterapeuta/usuário do sistema respondeu um questionário de avaliação de perfil (Apêndice I), antes de começar a usar o sistema, com intuito de saber seu grau de experiência com tecnologia e com a Realidade Misturada.

Durante a experimentação, foi aplicado um formulário de tarefas (Apêndice II), onde documentou-se as seguintes variáveis: tempo gasto, número de pedidos de ajuda, número de erros e os comentários do participante.

Após a utilização da ferramenta MRProsthesis, os usuários responderam mais um questionário que avalia a usabilidade do sistema (Anexo I). Os critérios para a escolha deste questionário são descritos a seguir.

6.2.2 Questionário de teste de usabilidade

Conforme Root e Draper (1983), questionários são usados há muito tempo para avaliar interfaces de usuário. Existem diversos modelos de questionários para avaliação dos aspectos de usabilidade, validade, confiabilidade (PERLMAN, 1995). A seguir, estão listados os questionários utilizados (TULLIS E ALBERT, 2008).

TABELA 14 - Questionários mais utilizados.

| Acrônimo | Instrumento | Quantidade de Perguntas |
|-----------------|--|--------------------------------|
| QUIS | Questionário para Satisfação da Interface do Usuário | 27 |
| SUS | Escala de Usabilidade do Sistema | 10 |
| PSSUQ | Questionário de Usabilidade do Sistema Pós-Estudo | 16 |
| PUEU | Utilidade percebida e facilidade de uso | 12 |
| NAU | Atributos da Usabilidade da Nielsen | 5 |
| ASQ | Após o questionário do cenário | 3 |
| PHUE | Heurística Prática para Avaliação de Usabilidade | 13 |
| PUTQ | Questionário de Teste de Usabilidade Purdue | 100 |
| USE | Questionário de uso | 30 |

Fonte: Adaptado (TULLIS E ALBERT, 2008)

Dentre os questionários mostrados por Tullis e Albert (2008), os mais utilizados são os questionários os QUIS, SUS e PSSUQ, ambos têm alto nível de confiabilidade (SAURO; LEWIS, 2016).

6.2.3 Questionário QUIS

Este questionário foi descrito por Chin et. al (1988) como o primeiro questionário de usabilidade proposto. Atualmente, está na sua versão 7 e possui 27 perguntas que medem nove fatores interfaces como: fatores de tela, feedback da terminologia e do sistema, fatores de aprendizado, manuais técnicos de recursos do sistema, tutoriais on-line, multimídia, teleconferência e instalação de software (BANGOR et al., 2008).

Pequenas modificações em seu texto original não implicam na sua acurácia que fica entre 0,83 e 0,92 em uma escala onde 0 é sem confiabilidade e 1 é confiabilidade perfeita. (BROOKE, 1996).

O QUIS fornece uma única pontuação de referência para os participantes sobre a usabilidade do produto (BANGOR et al., 2008). Contudo, para utilizá-lo é necessário licenciá-lo na University of Maryland's Office of Technology Commercialization. As

taxas atuais são de \$ 50 para uma licença de estudante, \$ 200 para uma outra licença sem fins lucrativos ou \$ 750 para uma licença comercial (SAURO; LEWIS, 2016)

6.2.4 Questionário SUS

O questionário SUS foi descrito por Brooke (1996), como uma escala de usabilidade “rápida e suja”. Entretanto, se tornou um questionário bastante popular em trabalhos de teste de usabilidade, (pós-testes) chegando a ser utilizado em 43% dos trabalhos (LEWIS, 2012).

Embora o questionário SUS seja uma pesquisa rápida, ela não é propriamente deficitária, conseguindo resultados considerados satisfatórios. Desde sua criação, obteve poucas modificações em suas perguntas originais. Sua acurácia é de 0,92 em uma escala onde 0 é sem confiabilidade e 1 é confiabilidade perfeita (SAURO; LEWIS, 2016). Seu uso não requer nenhuma taxa de licença. O único pré-requisito para seu uso é que o trabalho deve referenciar o autor (BROOKE, 1996).

Por fim, SUS produz um único número representando uma medida composta da usabilidade geral do sistema em estudo.

6.2.5 Questionário PSSUQ

O PSSUQ é um questionário projetado para avaliar a satisfação percebida dos usuários com sistemas de computador ou aplicações. Na sua primeira versão possuía 18 perguntas, em sua versão dois foi acrescentado mais uma pergunta. Contudo, na sua terceira e atual versão foram retiradas as questões (3, 5 e 13) contribuíram relativamente pouco para a confiabilidade do PSSUQ, resultando em uma terceira versão com 16 itens (LEWIS, 2012).

Segundo Sauro e Lewis (2016), a versão atual do PSSUQ produz quatro indicadores em forma de pontuações, uma geral e três subescalas. As regras para calculá-las são:

- Satisfação geral do sistema: média das respostas dos itens 1 a 16;
- Utilidade do sistema: Média de itens de 1 a 6;
- Qualidade da informação: Média de itens de 7 a 12;
- Qualidade de interface: Média de itens de 13 a 15;

O questionário de PSSUQ utiliza a escala Likert de 7 pontos onde 1 é “Concordo totalmente” e 7 é “Discordo totalmente”, ou seja, pontuações mais baixas indicando grau de satisfação. Entretanto, alguns profissionais preferem pontuações mais altas para indicar satisfação mais alta, invertendo o rótulo (TULLIS E ALBERT, 2008).

Por fim, a confiabilidade das informações obtidas com este questionário pode variar entre 0,83 a 0,96, em uma escala onde 0 é sem confiabilidade e 1 é confiabilidade perfeita, mostrando-se bastante confiável. O questionário também se mostrar flexível, pois pequenas mudanças no texto de suas perguntas não impactam no resultado esperado.

6.2.6 Escolha do questionário de usabilidade

Após o levantamento dos principais questionários de avaliação de usabilidade escolheu-se o Questionário de Usabilidade de Sistema Pós-Estudo – PSSUQ na sua versão 3 que possui 16 questões, pois além de medir a satisfação do usuários pode-se facilmente medir fatores de usabilidade do sistema, qualidade da informação e qualidade da interface, trazendo mais valor para o resultado da pesquisa. Além disto, o questionário apresenta acurácia satisfatória.

Entretanto, na escala Likert de 7 pontos optou-se por utilizar a rotulação invertida, onde pontuações mais altas representam indicar satisfação mais alta. O questionário está disponível no Anexo I.

Por fim, o questionário PSSUQ possui sua versão original na língua inglesa contudo nesta dissertação foi utilizada a versão traduzida e validada no trabalho de Rosa et al. (2015).

6.3 Resultados e Discussão

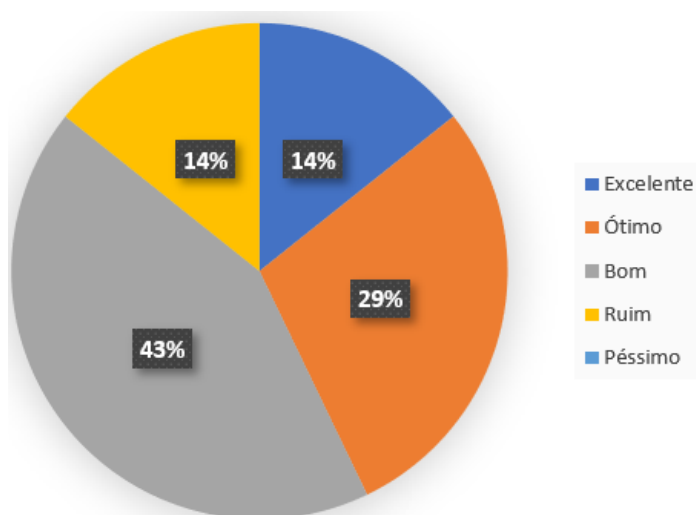
Conforme explicado anteriormente, foram aplicados testes de perfil de usuário, testes de usabilidades e testes de tarefas. A seguir são detalhados os resultados obtidos.

6.3.1 Resultados da Amostra

Através dos questionários de avaliação de perfil, conseguiu-se levantar alguns dados interessantes sobre o perfil dos usuários pesquisados. Detalha-se que todos os setes fisioterapeutas que contribuíram com as pesquisas possuíam idade entre 25 a 35 anos e eram do sexo feminino, possuíam de 3 a 13 anos de experiência profissional. Foram realizadas cinco perguntas sobre tecnologia que são detalhadas a seguir.

A primeira pergunta era “Qual o seu grau de experiência com o uso de tecnologia e computadores”. Da amostra total, 14% se consideram excelentes, 29% ótimos, 43% bom e 14% acharam ruim a experiência com uso de tecnologia. Nenhum avaliado considerou sua experiência péssima. Conforme mostra a Figura 62.

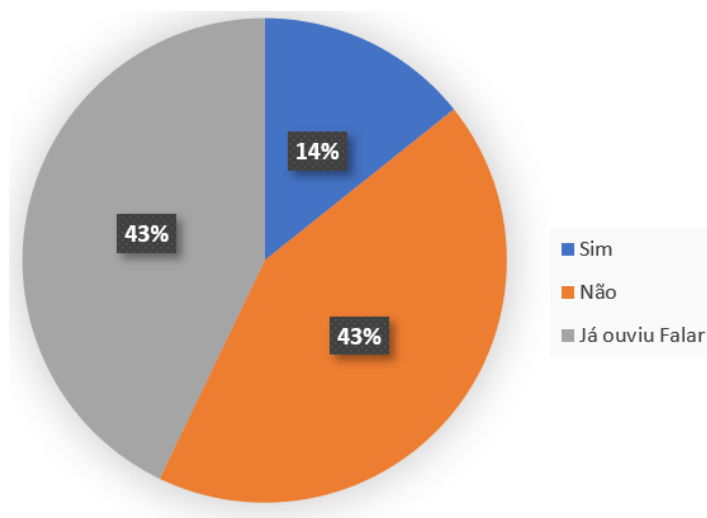
FIGURA 62 - Experiência com Uso de Tecnologia.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

A segunda pergunta foi “Você conhece realidade aumentada? ”. Da amostra total, 14% responderam sim, 43% responderam não e 43% disseram que já ouviram falar, conforme mostra a Figura 63.

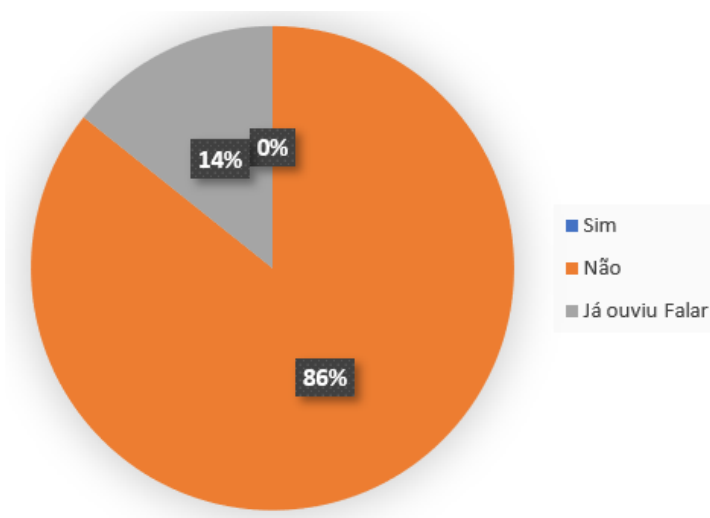
FIGURA 63 - Usuários que conhecem realidade aumentada.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

A terceira pergunta aborda o contexto de Realidade Misturada com a seguinte pergunta "Você conhece realidade misturada?". Da amostragem total pesquisada, 86% responderam que não conhecem RM e 14% disseram que já ouviram falar e nenhum usuário disse que conhece a tecnologia de RM. Conforme mostra a Figura 64.

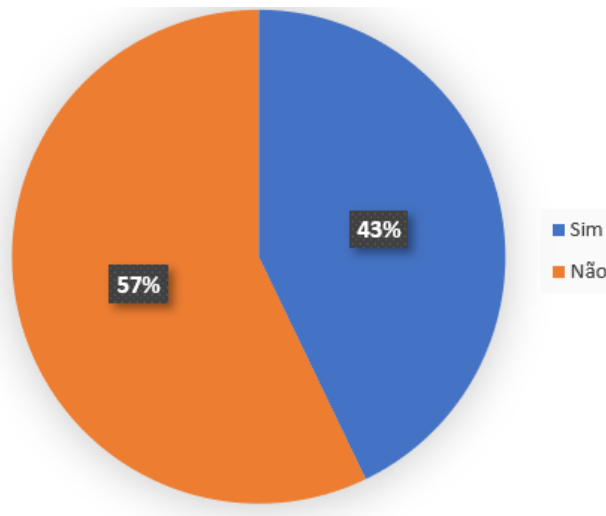
FIGURA 64 - Usuários que conhecem Realidade Misturada.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Já a quarta pergunta aborda o contexto de treinamento com por meio de alguma tecnologia, utilizado a seguinte pergunta "Já realizou treinamento utilizando algum dispositivo tecnológico?". Da amostra total pesquisada, 57% responderam nunca utilizaram tecnologias para treinamento. Já 43% disseram que já utilizaram. Conforme mostra a Figura 65.

FIGURA 65 - Amostragem de profissionais que utilizaram tecnologia.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Dos 43% de usuários que disseram já ter utilizado alguma tecnologia em treinamentos de reabilitação, todos afirmaram ter utilizado o celular como ferramenta de apoio.

A última pergunta do questionário de perfil, era específica sobre dispositivos de RA e RM, ela aplicava a seguinte pergunta: “Já utilizou algum headset (capacete) de realidade aumentada?”. Todos os usuários afirmam nunca terem utilizados capacetes de realidade aumentada.

Por fim, através do questionário de perfil, percebe-se que tecnologias estão sendo inseridas nos ambientes de treinamento, contudo a RA e RM ainda estão distantes do conhecimento dos profissionais que atuam na área de reabilitação.

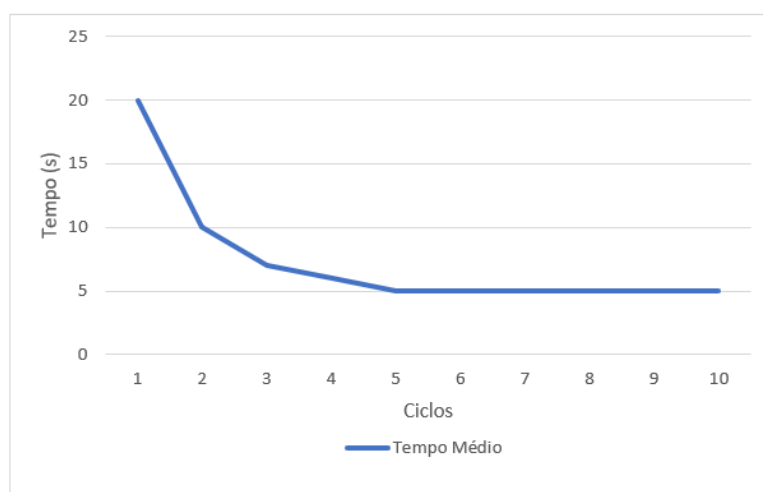
6.3.2 Resultados das experimentações preliminares com potenciais terapeutas

Conforme citado anteriormente, após responder o questionário de perfil, o usuário fará a experimentação do software MRProsthesis. Durante o decorrer dos testes, por meio de visualização e anotação no formulário de tarefas (Apêndice II), foram registradas as seguintes variáveis: tempo gasto, número de pedidos de ajuda, número de erros e os comentários do participante.

Os exercícios foram divididos em cinco tarefas. Ao completar todas tarefas o usuário termina um ciclo. Ao terminar dez ciclos, o usuário termina a sessão de treinamento proposta.

A tarefa 01 consistia em “Abrir e Fechar a prótese virtual”. Notou-se que em todos os testes, nenhum usuário mostrou dificuldade em executar está tarefa. No primeiro ciclo, demorou-se em média 20 segundos para executar a tarefa. Do segundo ciclo esse tempo caiu para em média 10 segundos. Do terceiro ciclo em diante de teste esse tempo foi para 7 segundos. Do quarto e quinto ciclos o tempo caiu em mais 1 segundo. Do quinto ciclo em diante o tempo se manteve constante em torno de 5 segundos, como mostra a Figura 66.

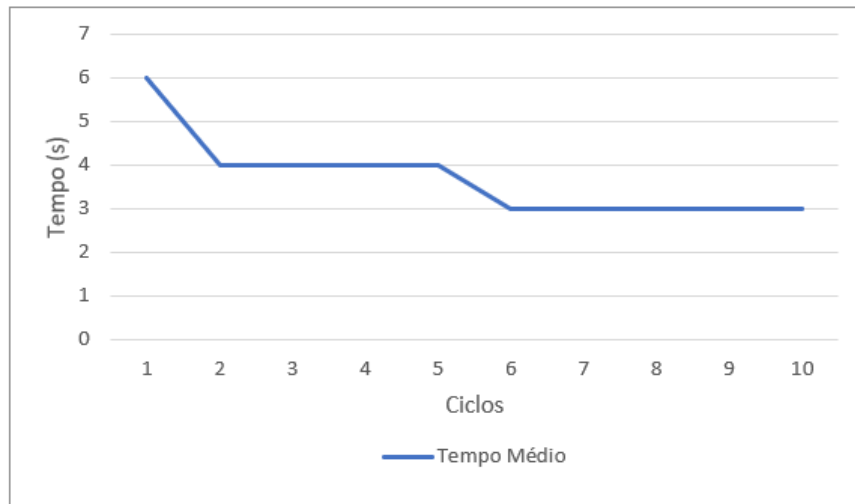
FIGURA 66 - Tempo Médio Tarefa 01.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Já a tarefa 02 consistia em “Tocar o objeto virtual cubo play com a prótese virtual”. Notou-se que em todos os testes, nenhum usuário mostrou grande dificuldade em executar está tarefa. No primeiro ciclo, demorou-se em média 6 segundos para executar a tarefa. Do segundo ao quinto ciclos o tempo médio de execução foi de 4 segundos. Do sexto ciclo em diante o tempo para execução desta atividade manteve-se constante em torno de 3 segundos, conforme mostra a Figura 67.

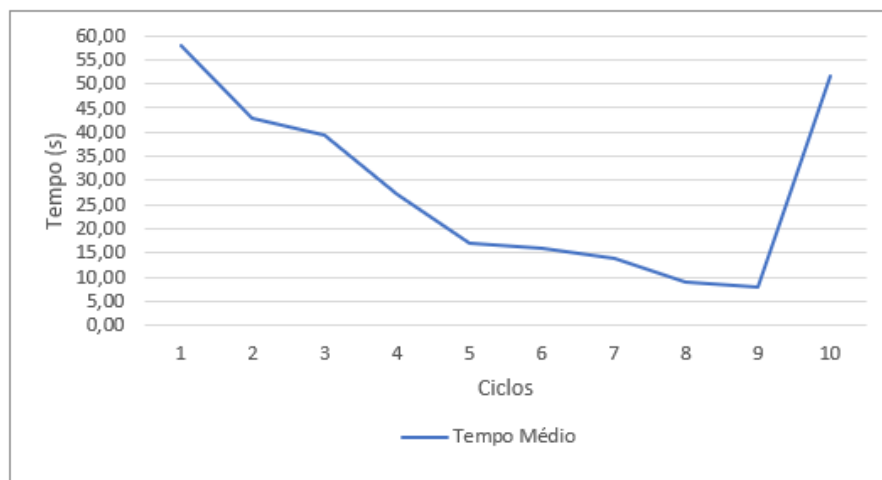
FIGURA 67 - Tempo Médio Tarefa 02.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

A tarefa 03 “Pegar o objeto virtual cilíndrico”, demonstrou ter maior dificuldade, pois, foi a tarefa que gastou mais tempo para ser executada. Em todos os ciclos algum usuário derrubou o objeto virtual. Entretanto, para análise do tempo médio da tarefa só foi considerado os usuários que terminaram a tarefa. Como mostra a Figura 68, a cada ciclo os usuários foram melhorando sua performance na execução da tarefa. Nos primeiros 5 ciclos teve uma grande queda de tempo. Do quinto ciclo em diante o tempo começou a se estabilizar até o nono ciclo. Isso acontece devido a adaptação do usuário ao sistema. Entretanto, no décimo ciclo, de maneira proposital, foi mudada a altura do marcador responsável pelos objetos cilíndricos e isto resultou numa maior dificuldade de manipulação do mesmo.

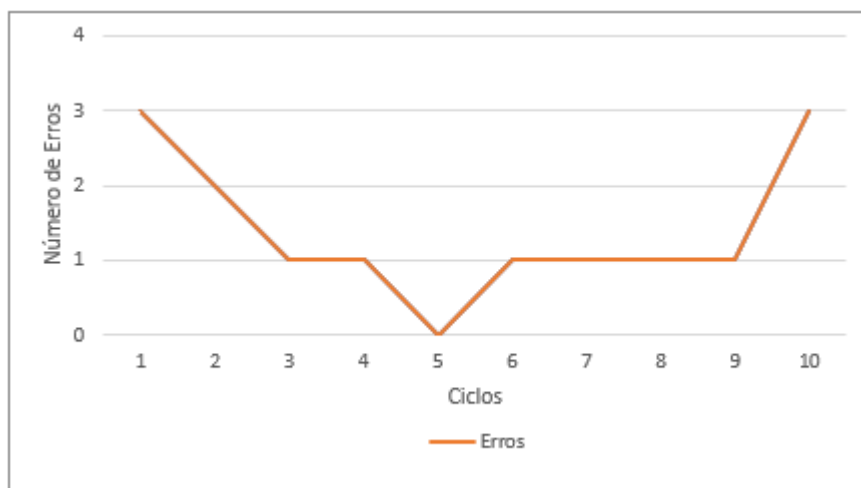
FIGURA 68 - Tempo Médio Tarefa 03.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Ao contrário das tarefas anteriores, a tarefa 03 teve um considerável número de erros devido a sua dificuldade de execução. Do primeiro ao quinto ciclo os erros foram caindo de forma progressiva. Do quinto ao sexto ciclo os erros se mantiveram-se estáveis em um por ciclo. No décimo ciclo teve a mudança de altura no marcador que propiciou muito aumento nos erros dos usuários, conforme mostra a Figura 69.

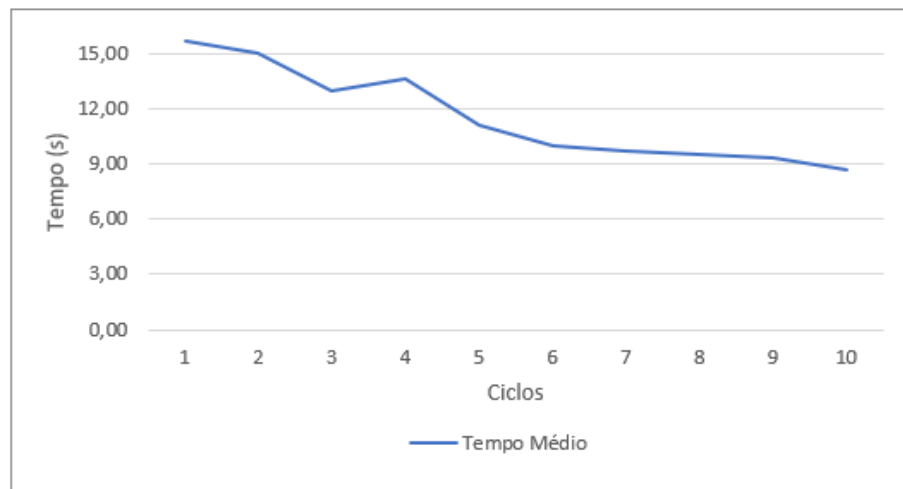
FIGURA 69 - Número de Erros na Tarefa 03.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Na tarefa 04 o usuário deve “Transportar objeto virtual cilíndrico no ponto inicial até o ponto final”. Esta tarefa demonstrou-se ser mais difícil que as tarefas 01 e 02 e mais fácil que a tarefa 03. Apesar da facilidade, 3 usuários diferentes deixaram o objeto virtual cilíndrico cair durante a tarefa, estes erros aconteceram nos ciclos 01, 02 e 03. Lembra-se que o usuário que teve erro na tarefa 03 não pode executar as tarefas 04 e 05 daquele ciclo. O tempo médio só foi calculado com os usuários que finalizaram a tarefa. O tempo médio foi reduzido em maior quantidade de segundos entre os ciclos 1 e 5. Do ciclo 6 ao ciclo 10 o tempo médio de execução estabilizou em torno de 9 segundos, conforme mostra a Figura 70.

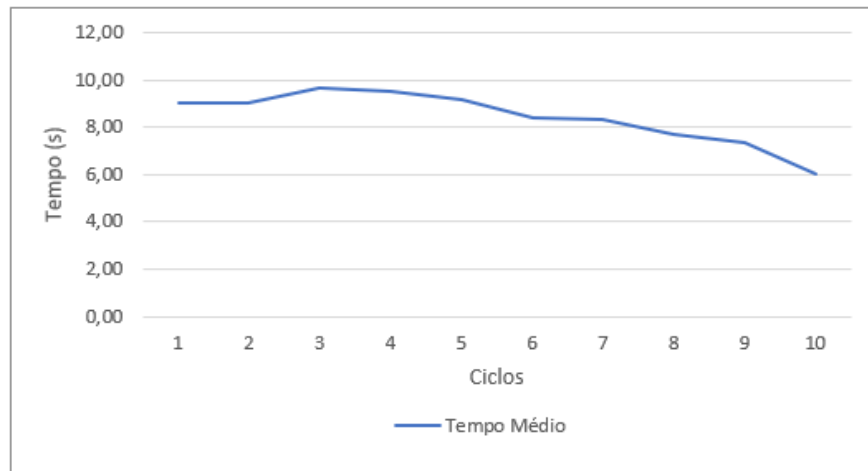
FIGURA 70 - Tempo Médio Tarefa 04.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

A tarefa 05 consistia em “Soltar o objeto virtual cilíndrico no ponto final suavemente”. Esta atividade se mostrou mais difícil que as tarefas 01, 02 e 04, porém mais fácil que a atividade 03. Nos seis primeiros ciclos aconteceram erros de manipulação do objeto na hora de soltar o objeto cilíndrico da mão virtual. Aconteceram dois tipos de erros basicamente, o primeiro foi soltar o objeto muito alto fazendo-o quicar no destino e cair. O segundo erro comum foi deixar o objeto cilindro mal posicionado, fazendo-o cair do local de destino. Conforme mostra a Figura 71, a cada ciclo o tempo de execução da tarefa foi diminuindo lentamente. Entretanto, os ciclos 1 e 2 tiveram tempos melhores se comparados ao ciclos 03, 04 e 05, isto acontece devido a amostra utilizada nos ciclos 01 e 02 serem muito pequenas, pois usuários que não passaram na tarefas 03 ou 04 não participaram da construção da média do tempo.

FIGURA 71 - Tempo Médio Tarefa 05.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Ao final da experimentação vimos, que a cada ciclo os usuários vão conseguindo melhorar seus tempos. Das 350 tarefas propostas para os 7 usuários foram executadas 290 com êxito. Apenas um usuário conseguiu realizar todas as atividades propostas em todos os ciclos, enquanto o usuário de pior desempenho realizou apenas cinco ciclos completos. No geral, a média de exercícios completos foi de 6 ciclos.

Em relação ao tempo dos ciclos concluídos, o maior tempo gasto para os usuários executar as cinco tarefas propostas em cada ciclo foi 2 minutos e 5 segundos, enquanto a execução mais rápida foi em 25 segundos. No geral, o tempo médio ficou 52 segundos. Excluindo o ciclo 10 devido a mudança proposital de altura do marcador, usuários que tiveram mais execuções de ciclos completos conseguiram tempos menores.

Durante o experimento os usuários só pediram ajuda até completar seu primeiro ciclo completo. O usuário que mais demorou a concluir um ciclo completo precisou de quatro tentativas, ou seja, só conseguiu realizar no quarto ciclo.

Nos comentários gerais, todos usuários/fisioterapeutas os registraram que a tecnologia foi aderente a treinamento de amputados de membros superiores. No entanto, 28% usuários acreditam que outros tipos de feedback enriqueceriam a aplicação, mas que para treinamentos iniciais é de grande valia.

Do ponto de vista do funcionamento da aplicação, percebeu-se que os dispositivo de auxiliar responsável por abrir e fechar a prótese funcionou satisfatoriamente, não mostrando nenhuma falha durante o processo de treinamento.

Por outro lado, algumas vezes a prótese virtual desapareceu, devido a não visualização do marcador RA.

Ao final da experimentação, percebeu-se que das cinco tarefas exigidas em cada ciclo, a que o usuário mostra mais dificuldade é na tarefa 03 – “Pegar o objeto virtual cilindro”. Esta dificuldade fica maior se porventura o objeto cilindro virtual cair sobre o marcado. Outro fator que impacta na dificuldade de utilização do sistema MRProsthesis é a altura da mesa (ciclo 10) onde se encontra o marcador de fiducial responsável por posicionar o objeto cilíndrico e os alvos de origem e destino. Para um melhor desempenho, o marcador fiducial deve estar posicionado por volta de 30 cm abaixo do queixo.

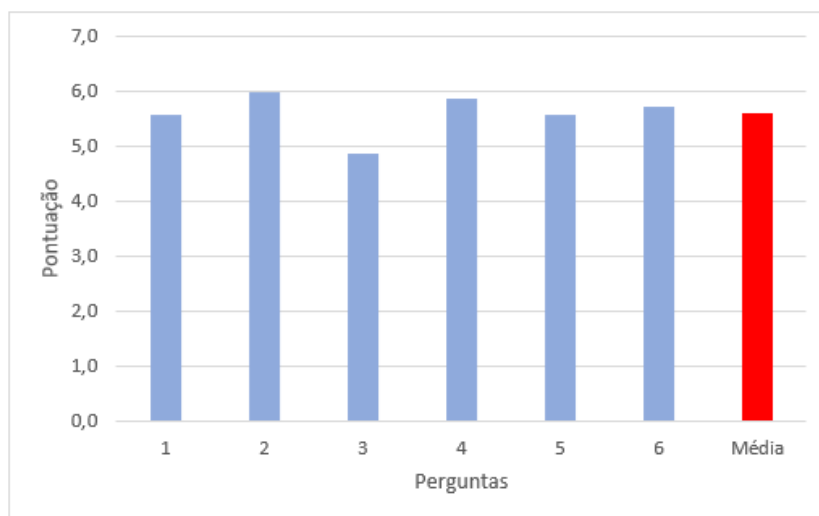
Por fim, resultados obtidos com experimentações preliminares realizadas com potenciais terapeutas foi possível validar o funcionamento da arquitetura. Nos testes realizados o sistema MRProsthesis não mostrou falha de funcionamento, proporcionando ao usuário a realização das tarefas propostas. Além disto, pela análise dos gráficos ficou provado que à medida que o usuário usa o sistema ele vai diminuindo o tempo de realização de cada tarefa.

6.3.3 Resultados de Usabilidade

Conforme citado anteriormente, os questionários de usabilidade PSSUQ avaliam quatro métricas de usabilidade que são: utilidade do sistema, qualidade da informação, qualidade da interface e usabilidade geral. Essa avaliação acontece por média aritmética simples. Lembra-se que o questionário usa a escala Likert de 7 pontos, onde as notas mais perto de 1 são as mais baixas e as perto de 7 são as mais altas.

No que se refere a utilidade do sistema, conseguiu-se uma média 5,6 conforme mostra a Figura 72. Entretanto, cabe ressaltar que o item de menor avaliação foi o “Conseguí completar rapidamente as tarefas e cenários utilizando este sistema”, o que acredita-se ser normal, devido à natureza do sistema, que é de treinamento.

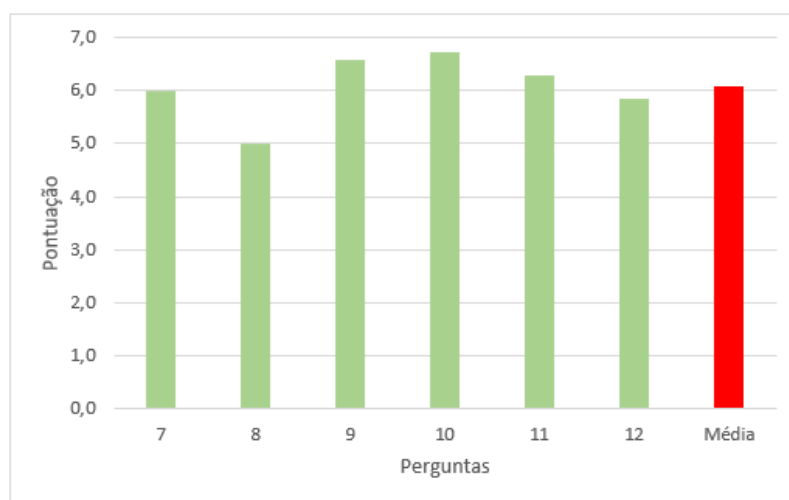
FIGURA 72 - Avaliação de utilidade do sistema.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

No quesito qualidade da informação (Figura 73), o sistema MRProsthesis conseguiu atingir a média 6,1 na escala Likert de 7 pontos, mostrando assim precisão de quantidade e qualidade de informações oferecidas aos usuários. Porém, cabe salientar que o item/pergunta 8 “Sempre que cometi um erro durante a utilização do sistema, consegui recuperar de forma fácil e rápida” foi de pior pontuação nesta avaliação. Contudo, está pior avaliação é devido a natureza de treinamento do sistema, pois é natural que em um sistema de treinamento o usuário não consiga executar todas as tarefas.

FIGURA 73 - Avaliação qualidade da informação.

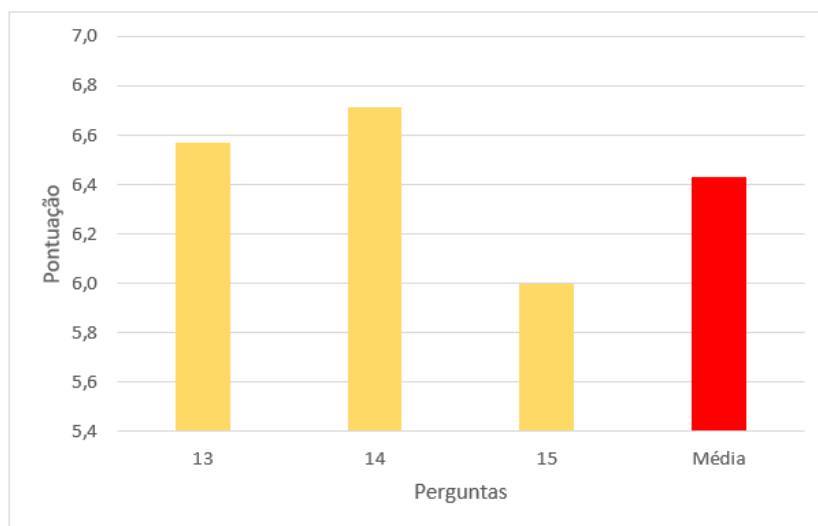


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Já no que se refere à qualidade da interface (Figura 74), o sistema obteve sua melhor média 6,4. Acredita-se que isso acontece devido ao fato de o sistema ter

característica de uso intuitiva. Além disto, a qualidade da informação elevada impacta diretamente nesta avaliação. Entretanto, cabe ressaltar que a pergunta 15 “Este sistema tem todas as funcionalidades e capacidades que eu esperava” teve a menor avaliação, indo de acordo o resultado levantado pelo questionário de tarefas, onde os usuários acreditam que outros tipos de feedback podem ajudar a natureza do sistema.

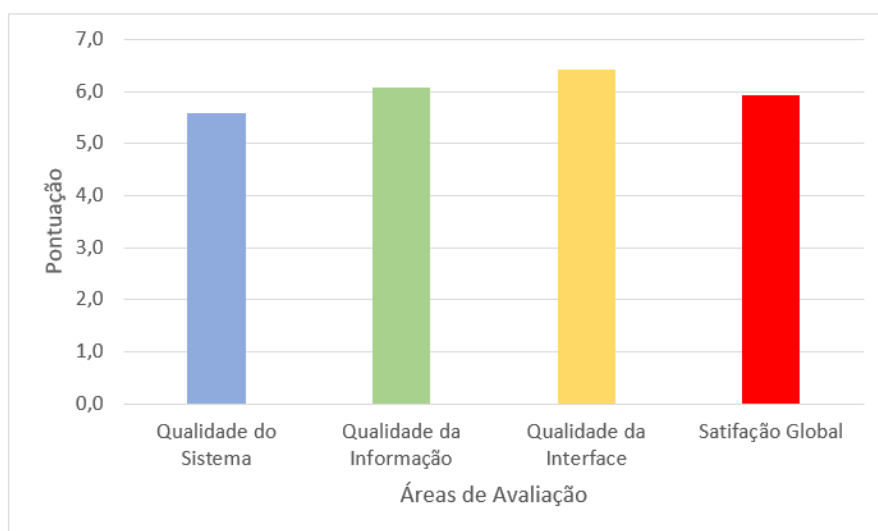
FIGURA 74 - Avaliação de qualidade da interface.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

A satisfação geral do sistema, conseguiu atingir nível muito alto conseguindo uma média de 5,9 em uma escala que vai de 1 a 7 pontos. Isso mostra um nível de aceitável e performance, conforme mostra a Figura 75.

FIGURA 75 - Satisfação geral do sistema.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Por fim, percebe-se que o sistema atingiu nível de usabilidade muito bom, pois na escala Likert de 7 pontos, todos indicadores de satisfação ficaram com média entre 5,6 e 6,4. Nesta escala 7 é a nota máxima e 0 a nota mínima.

6.4 Considerações Finais

Neste capítulo, foram apresentados os métodos e critérios adotados nesta pesquisa. Por fim, foram apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação dos questionários de perfil, usabilidade e formulário de tarefas aos usuários do sistema MRProsthesis. No capítulo seguinte, serão apresentadas as considerações finais sobre o desenvolvimento desta dissertação/estudo, além de propor a continuação da pesquisa por meio de alguns trabalhos futuros.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalhos Futuros

7.1 Introdução

Neste capítulo, serão apresentadas as considerações finais, sobre o trabalho proposto. Em seguida, serão apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

7.2 Conclusões

Nesta dissertação, foi implementada uma arquitetura que faz uso de técnicas de RM com atividades inspiradas em jogos sérios, que possibilitam a criação de um ambiente para auxiliar no processo de treinamento de pessoas com amputação de membros superiores e que utilizarão próteses mecânicas, com acionamento por meio de tirantes.

Para seu funcionamento foram necessárias duas aplicações: uma para exibição da interface gráfica e outra para abertura e fechamento da prótese. A aplicação de abertura e fechamento da prótese virtual foi embarcada em uma placa ESP 32S NodeMCU. Esta aplicação depende de um tirante que fica preso ao corpo do usuário. Ao esticar o fio, a prótese é fechada, ao deixar o fio a prótese fica aberta. Esse movimento é captado devido ao potenciômetro deslizante que fica conectado do dispositivo que contém a placa ESP 32S NodeMCU.

A transmissão de dados entre interface gráfica e o dispositivo auxiliar, via Bluetooth funcionou corretamente com os dispositivos Vuzix® e monitor. Entretanto, na proposta para o Microsoft HoloLens™ recomenda-se trocar a transmissão Bluetooth por outro tipo de transmissão sem fio, pois Microsoft HoloLens™ possui um sistema mais difícil de desenvolver com Bluetooth. Além disso, o mesmo só aceita programar

mecanismos de conexão utilizando a Plataforma Universal do Windows, que não possui suporte nativo para as bibliotecas Bluetooth.

As ferramentas de desenvolvimento 3D Studio Max, Unity Personal versão 2017.4.1 juntamente com API Vuforia 6.5 e a IDE Microsoft Visual Studio 2017 se mostram adequadas, eficientes e estáveis não causando transtornos para o desenvolvimento.

A API Vuforia cumpre bem seu papel de rastreamento de imagem em objetos cilíndricos, com detecções de imagem muito rápidas. Isto acontece devido ao marcador fiducial no formato cilíndrico escolhido, que demonstrou ser ideal para o rastreio. Este marcador seguiu todas recomendações proposta pela API. Entretanto, percebeu-se que aplicação de interface gráfica necessita de outros mecanismos de rastreamento para agilizar a renderização de objeto fora do campo de visão, visto que os objetos só são renderizados após a visualização dos marcadores fiduciais. Outro fator a se destacar foi redução de polígonos por meio do 3D Studio Max, que possibilitou a renderização de objetos mais rapidamente.

Após a realização dos testes de funcionamento do sistema e a avaliação por meio do formulário de tarefas, percebeu-se que o dispositivo auxiliar de aquisição de dados para abertura e fechamento da prótese virtual conseguiu atingir nível de confiabilidade satisfatória, pois funcionou corretamente durante todo processo de testes. Este dispositivo é de suma importância para a manipulação dos objetos tridimensionais por meio da prótese virtual presente no sistema de interface desta arquitetura.

Apesar de ter apenas 16 perguntas, o questionário PSSUQ mostrou-se adequado para avaliação de usabilidade. Sua acurácia de confiabilidade entre 0,83 e 0,96, passa credibilidade aos resultados conseguidos pelos 4 critérios de usabilidade. O nível de satisfação de usabilidade geral do sistema atingiu média em 5,9 na escala Likert de 7 pontos, mostrando aceitação por parte os usuários testados.

A partir dos resultados obtidos através do feedback dos 7 profissionais que testaram o sistema, conclui-se que a tecnologia para treinamento de amputados de membros superiores por meio de RM com atividades inspiradas em jogos sérios, mostrou indícios de aceitação por profissionais da área de saúde. Contudo, 28% usuários acreditam que outros tipos de feedback enriqueceriam a aplicação, mas para treinamentos iniciais o sistema é de grande valia. Através dos comentários gerais dos

usuários que realizam a experimentação da ferramenta foi possível perceber que a estratégia de utilização de jogos sérios apresentou indícios de potencialidades para o treinamento de amputados de membros superiores.

7.3 Trabalhos Futuros

Para dar continuidade no desenvolvimento do projeto, algumas funcionalidades devem ser investigadas com intuito de melhorar a experiência do usuário em relação a utilização do sistema. Dentre elas destacando-se:

- Modelar novos objetos virtuais comuns ao dia-dia do usuário como bolas, canecas, cubos, caixas, copos, etc.;
- Desenvolver novas tarefas para a aplicação e um sistema de níveis de dificuldade;
- Realizar testes utilização os novos dispositivos de computação holográfica existentes no mercado;
- Desenvolver um protótipo de sistema embarcado que possibilite a manipulação da prótese virtual sem o uso de marcadores fiduciais;
- Desenvolver um sistema antiesmagamento que possibilite feedback de força para o usuário.
- Desenvolver um sistema que possibilite o uso de rastreamento externo;

Por fim, espera-se testar o protótipo MRProsthesis em pessoas que possuam amputação em membros superiores, uma vez que essa dissertação contribui para aceitação de sua valia.

Referências Bibliográficas

ANDERSON, Fraser; BISCHOF, Walter F. Augmented reality improves myoelectric prosthesis training. **International Journal on Disability and Human Development**, v. 13, n. 3, p. 349-354, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.1515/ijdh-2014-0327>

AZUMA, Ronald T. **A survey of augmented reality. Presence: Teleoperators & Virtual Environments**. v. 6, n. 4, p. 355-385, 1997.

DOI: <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>

AZUMA, Ronald et al. **Recent advances in augmented reality**. IEEE computer graphics and applications, v. 21, n. 6, p. 34-47, 2001.

DOI: <https://doi.org/10.1109/38.963459>

BANGOR, Aaron; KORTUM, Philip T.; MILLER, James T. An empirical evaluation of the system usability scale. **Intl. Journal of Human-Computer Interaction**, v. 24, n. 6, p. 574-594, 2008.

DOI: <https://doi.org/10.1080/10447310802205776>

BARRETO, Larissa; MENEZES, Natália dos Anjos; SOUZA, Deise Elisabete de. Fisioterapia em Pacientes amputados de membro inferior pré e pós – protetização. **Revista Conexão Eletrônica**, v. 13, 2013).

BELGAMO, Anderson; MARTINS, Luiz Eduardo Galvão. Estudo comparativo sobre as técnicas de elicitação de requisitos do software. In: **XX Congresso Brasileiro da Sociedade Brasileira de Computação (SBC)**, Curitiba-Paraná. 2000.

BERGAMASCHI, Marcelo Pereira; MORAIS, Thamires Martins Augusto de. **Estudo sobre a utilização de VUFORIA e Unity 3D com RA para dispositivos móveis**. 2014.

BOCCOLINI, F. **Reabilitação - Amputados, amputações e próteses**. 2 ed. São Paulo: Robe, 2000.

BOSCHMANN, Alexander et al. A novel immersive augmented reality system for prosthesis training and assessment. In: **2016 IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)**. IEEE, 2016. p. 280-283

DOI: <https://doi.org/10.1109/BHI.2016.7455889>

BOTEGA, Leonardo Castro; CRUVINEL, Paulo Estevão. Realidade virtual: histórico, conceitos e dispositivos. Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico. In: **XI symposium on virtual reality** – Porto Alegre, 2009.

BOTH, Juliane Elis et al. Acompanhamento de paciente com amputação de membro superior: um estudo de caso. **Revista Contexto & Saúde**, v. 11, n. 20, p. 611-616, 2011.

BOWMAN, et a., **3D User Interface Theory and Practice**, AddisonWesley, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. **Diretrizes de atenção à pessoa amputada** / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. 1. ed. 1. reimpresso. – Brasília: Ministério da Saúde, 2013. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_atencao_pessoa_amputada.pdf> Acesso em: 05 mar. 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia. Centro de Amputados. **Orientação a Pacientes de Membro Superior**. Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia – Brasília: Ministério da Saúde, 2016. Disponível em: <https://www.into.saude.gov.br/images/pdf/cartilhas/atualizadas/Cartilha_Amputados_Superior_web.pdf> Acesso em: 10 mar. 2017.

BRYKSIN, GLEB. 2017 .**VR vs AR vs MR: Differences and Real-Life Applications**. Disponível em: <<https://rubygarage.org/blog/difference-between-ar-vr-mr>> Acesso em: 02 junho. 2018.

BROOKE, J. (1996). **SUS: A “quick and dirty” usability scale**. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & I. L. McClelland (Eds.), Usability evaluation in industry (pp. 189–194). London: Taylor & Francis

BURDEA Grigore, C.; COIFFET, Philippe. **Virtual reality technology**. London: Wiley-Interscience, 1994.

BURKE, James William et al. Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games. **The Visual Computer**, v. 25, n. 12, p. 1085, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00371-009-0387-4>

BURKE, James William et al. Augmented reality games for upper-limb stroke rehabilitation. In: **2010 Second International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications**. IEEE, 2010. p. 75-78. DOI: <https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2010.21>

CARDOSO, Alexandre; LAMOUNIER JR, Edgard. Realidade virtual - uma abordagem prática. Minicursos – In: **VII symposium on virtual reality** - São Paulo, 2004.

CARDOSO, Alexandre; LAMOUNIER, Edgard. A realidade virtual na educação e treinamento. In: TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Belém: SBC, p. 304-312, 2006.

CARDOSO, Alexandre; LAMOUNIER, Edgard; LIMA, Gerson F. M. Engenharias. In: TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva. **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: Editora SBC, 2018 – p. 450-494.

CARVALHO, Gustavo Longhi de. **Proposta de um método de projeto de próteses de membros superiores com a utilização da engenharia e análise do valor**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CARVALHO, J. A., **Amputações de membros inferiores em busca da plena reabilitação**, Ed. Manole; São Paulo; 2003.

CAVALCANTE, Reidner Santos et al. **Desenvolvimento de um jogo sério para treinamento de amputados de membros superiores**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

CHIN, J.P., DIEHL, V.A., NORMAN, K.L. **Development of an instrument measuring user satisfaction of the human-computer interface**. In: Proceedings of CHI 1988. ACM, Washington, DC, 1988, pp. 213–218.
DOI: <https://doi.org/10.1145/57167.57203>

COSTA, Regina Mamede. **Adaptação do usuário de próteses mioelétricas: implicações na aprendizagem de movimentos de mão**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Espírito.

CYRINO, Gabriel Fernandes et al. HarpyGame: um jogo sério customizável com interface multimodal para reabilitação de indivíduos pós-AVE. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

CUPERSCHMID, Ana Regina M.; FREITAS, MR de. Possibilidades de uso de realidade aumentada Móvel para AEC. **Simpósio brasileiro de qualidade do projeto no ambiente construído**, v. 3, 2013.

DA SILVA, Judite Regina Alves. **Avaliação e certificação de dispositivos protéticos e ortéticos para membro inferior**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, 2015.

DANIELSKI, Keri et. al. **Qualcomm Interactive Platforms. Qualcomm adds 3D reconstruction to qualcomm® Vuforia™ Mobile vision platform with new smart terrain™ feature**. 2014. Disponível em: <<https://www.prnewswire.com/news-releases/qualcomm-adds-3d-reconstruction-to-qualcomm-vuforia-mobile-vision-platform-with-new-smart-terrain-feature-259933571.html> > Acesso em: 02 mar. 2018.

DERRYBERRY, A. Serious games: online games for learning. I'm Serious. net. **Retrieved 28th April**, 2008.

DIAS, R. S.; SAMPAIO, I. L. A. & TADDEO, L. S. **Fisioterapia x Wii: a introdução do lúdico no processo de reabilitação de pacientes em tratamento fisioterápico**. In: Brazilian Symposium On Games And Digital Entertainment. Rio de Janeiro, 2009.

DORES, Artemisa R. et al. Realidade virtual na reabilitação: por que sim e por que não? uma revisão sistemática= Virtual reality and rehabilitation: why or why not? a systematic literature review. **Revista Científica da Ordem dos Médicos**, p. 414-421, 2012.

DORNELAS, Lílian de Fátima. Uso da prótese e retorno ao trabalho em amputados por acidentes de transporte. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 18, n. 4, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-78522010000400006>

DUTRA, Bruno Gomes et al. **Metodologia para estimação de intenção de movimento e controle em tempo real de prótese mioelétrica de mão: uma abordagem linear, preditiva e estocástica**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, 2018.

FERNANDES, Bruno O.; FOGGIATTO, José A.; POIER, Paloma H. Uso da Impressão 3D na Fabricação de Órteses—Um Estudo de Caso. In: **Fourth International Conference on Integration of Design, Florianópolis**. 2015

FERNANDES, Flávia Gonçalves et al. Grab the Life: Serious Game to Support Physical Rehabilitation Using Virtual Reality and Wearable Myo. In: **2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)**. IEEE, 2016. p. 145-149.

GERHARDT, Tatiana E; SILVEIRA, Denise T. **Métodos de pesquisa** - Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GRADY, Sean M. Virtual Reality, New Edition: **Simulating and enhancing the world with computers**. Facts on File, Inc., 2002.

HOFMAM, Mauricio et al. Um estudo sobre marcas fiduciais em realidade aumentada: combinando detecção de linhas com calibração de câmera. In: **VIII symposium on virtual reality–SVR**. 2006. p. 337-348.

KIRNER, Claudio; PINHO, Marcio S. Minicurso: Introdução à realidade virtual. In: **1º workshop de realidade virtual São Carlos**, p. 03-10, 1997.

KIRNER, Claudio; TORI, Romero. Introdução à Realidade Virtual, Realidade Misturada e Hiper-Realidade. **Realidade Virtual: Conceitos, Tecnologia e Tendências**. 1ed. São Paulo, v. 1, p. 3-20, 2004.

KIRNER, Claudio. Mãos colaborativas em ambientes de Realidade Misturada. In: **Anais do 1º Workshop de Realidade Aumentada, Piracicaba, SP**. 2004. p. 1-4.

KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson. Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações. In: **Livro do IX symposium on virtual and augmented reality**, Petrópolis (RJ), Porto Alegre: SBC. 2007.

KIM, Y. G.; KIM, W. J. Implementation of augmented reality system for smartphone advertisements. **international journal of multimedia and ubiquitous engineering**, v. 9, n. 2, p. 385-392, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.14257/ijmue.2014.9.2.39>

KNIGHT, Ashley; CAREY, Stephanie; DUBEY, Rajiv. Transradial Prosthesis Performance Enhanced with the Use of a Computer Assisted Rehabilitation Environment. In: **Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments**. ACM, 2017. p. 59-62.

DOI: <https://doi.org/10.1145/3056540.3064947>

KOIVISTO, Jaana-Maija et al. Nursing students' experiential learning processes using an online 3D simulation game. **Education and Information Technologies**, v. 22, n. 1, p. 383-398, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-015-9453-x>

LAMOUNIER JR, E. A. et al. Using augmented reality techniques to simulate myoelectric upper limb prostheses. **J Bioengineer & Biomedical Sci S**, v. 1, p. 2, 2012.

DOI: <https://10.4172/2155-9538.S1-010>

LAMOUNIER, Edgard, TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva. Glossário. In: TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOUITO, Robson. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Porto Alegre: Editora SBC, 2018 – p. 659-486.

LAHR, Priscila Santarosa; LOURENÇO, Paulo César; DAINESE, Carlos Alberto. Rastreamento em Realidade Aumentada com ARTToolKit e marcadores. In: **Anais do Workshop de Realidade Aumentada**. 2004. p. 37-68.

LEBLANC, M. **Give Hope, Give a Hand - The LN4 Prosthetic Hand**. Stanford University Mechanical Engineering, 2008.

LEWIS, J.R., **Usability testing**. In: Salvendy, G. (Ed.), Handbook of Human Factors and Ergonomics. Wiley, New York, 2012, pp. 1267–1312.

DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118131350.ch46>

LIMA, NEWTON et al. **Fisioterapia Ambulatorial em Amputado de Membro Inferior**. Unidade de Reabilitação do Hospital das Clínicas da Universidade do Triângulo Mineiro – Uberaba: EBSEH – Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares, 2015.

LING, Haibin. Augmented reality in reality. **IEEE MultiMedia**, v. 24, n. 3, p. 10-15, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/MMUL.2017.3051517>

MACHADO, Romulo. **Acidentes com máquinas causam 12 amputações por dia no País**. Disponível em: <<http://revistacipa.com.br/acidentes-com-maquinas-causam-12-amputacoes-por-dia-no-pais/>> Acesso em: 03 mar. 2018.

MERT, Agali et al. A medical serious games framework hierarchy for validity. In: **2018 10th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)**. IEEE, 2018. p. 1-2.

DOI: <https://doi.org/10.1109/VS-Games.2018.8493405>

MILGRAM, Paul et al. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: **Telemanipulator and telepresence technologies**. International Society for Optics and Photonics, 1994. p. 282-292.

DOI: <https://doi.org/10.1117/12.197321>

MONTIEL, Alexandra, Mara Ambrosina de Oliveira; LEAL, Sandra Maria Cezar. Caracterização de pessoas submetidas à amputação. **Enfermagem em Foco**, v. 3, n. 4, p. 169-173, 2012.

DOI: <https://doi.org/10.21675/2357-707X.2012.v3.n4.377>

MORIE, Jacquelyn F. Inspiring the future: merging mass communication, art, entertainment and virtual environments. In: **ACM SIGGRAPH Computer Graphics**, v. 28, n. 2, p. 135-138, 1994.

DOI: <https://doi.org/10.1145/178951.178973>

MYOBOCK, System. **SensorHand Speed Manual**. Minneapolis, MN, 2011. Disponível em: <<https://shop.ottobock.us/Prosthetics/Upper-Limb-Prosthetics/Myo-Hands-and-Components/Myo-Terminal-Devices/SensorHand-Speed/p/8E38~58-R8~91~24>> Acesso em: 02 mar. 2018.

NISHINO, Wataru et al. Development of a myoelectric prosthesis simulator using augmented reality. In: **2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)**. IEEE, 2017. p. 1046-1051.

DOI: <https://doi.org/10.1109/SMC.2017.8122749>

NOGUEIRA, Kenedy Lopes et al. **Um framework de realidade virtual e aumentada para apoio a sistemas de reabilitação**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

NUNES, Fátima de Lourdes et al. Realidade Virtual para saúde no Brasil: conceitos, desafios e oportunidades. **Rev. Bras. Eng. Biom**, v. 27, n. 4, p. 243-258, 2011.

DOI: <https://doi.org/10.4322/rbeb.2011.020>

NUNES et al. Saúde. In: **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: Editora SBC, 2018. p. 75-84, 2018.

OTTOBOCK. 2013. **Informação para amputados**. Disponível em: <<https://www.ottobock.com.br/prosthetics/informa%C3%A7%C3%A3o-para-amputados/>> Acesso em: 02 mar. 2018.

PALERMO, Francesca et al. An Augmented Reality Environment to Provide Visual Feedback to Amputees During sEMG Data Acquisitions. In: **Annual Conference Towards Autonomous Robotic Systems**. Springer, Cham, 2019. p. 3-14.

DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-25332-5_1

PAIVA, LL; GOELLNER, SV. Reinventando a vida: um estudo qualitativo sobre os significados culturais atribuídos à reconstrução corporal de amputados mediante a protetização. **COMUNICAÇÃO SAÚDE E EDUCAÇÃO** v.12, n.26, p.485-97. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/icse/v12n26/a03.pdf>> Acesso em: 19 abril. 2018.

DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-32832008000300003>

PASTRE, Carlos M. et al. **Fisioterapia e amputação transtibial**. Arq Ciênc Saúde, v. 12, n. 2, p. 120-124, 2005.

PEZZIN, Liliana E. et al. Use and satisfaction with prosthetic limb devices and related services. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 85, n. 5, p. 723-729, 2004.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.06.002>

PERLMAN, Gary. Electronic surveys. **Behavior Research Methods, Instruments, & Computers**, v. 17, n. 2, p. 203-205, 1995.

DOI: <https://doi.org/10.3758/BF03214383>

PRESSMAN, Roger; MAXIM, Bruce. **Engenharia de Software-8ª Edição**. McGraw Hill Brasil, 2016.

PROTESISBRASIL. 2017 **Próteses Brasil** . Disponível em: <<https://www.protesis.com.br/index/>> Acesso em: 10 out. 2017.

PTC. 2018. Interning at PTC: **Differentiating your business using Augmented Reality and the Internet of Things**. <<https://www.ptc/pulse/interning-ptc-differentiating-your-business-using-reality-stewart/>> Acesso em: 10 feb. 2018

PTC, Interactive Platforms. **Getting Started**. 2018. Disponível em: <<https://library.vuforia.com/getting-started.html>>. Acesso em 24/01/2018.

QUEIROZ, Daniel Pacheco. **Avaliação de métodos de rastreamento de marcadores para um sistema óptico de captura de movimento**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais.

RESNIK, Linda et al. Using virtual reality environment to facilitate training with advanced upper-limb prosthesis. **Journal of Rehabilitation Research & Development**, v. 48, n. 6, 2011.

DOI: <https://doi.org/10.1682/JRRD.2010.07.0127>

RIBEIRO, Marcos Wagner S.; ZORZAL, Ezequiel Roberto. Realidade virtual e aumentada: Aplicações e tendências. **XIII Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada, Uberlândia-MG-Brasil**, p. 15, 2011.

RODELLO, Ideberto Aparecido et al. Realidade Misturada: conceitos, ferramentas e aplicações. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 2, n. 2, p. 2-16, 2010.

DOI: <https://doi.org/10.5335/rbca.2010.011>

ROOT, Robert W.; DRAPER, Steve. Questionnaires as a software evaluation tool. In: **Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems**. ACM, 1983. p. 83-87.

DOI: <https://doi.org/10.1145/800045.801586>

ROSA, Ana Filipa et al. European Portuguese validation of the post-study system usability questionnaire (PSSUQ). In: **2015 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)**. IEEE, 2015. p. 1-5.

DOI: <https://doi.org/10.1109/CISTI.2015.7170431>

SANTOS, Alan Brito dos; DOURADO, Juliel Bronzati; BEZERRA, Adriano. ARToolkit and Qualcomm Vuforia: An Analytical Collation. In: **Virtual and Augmented Reality (SVR), 2016 XVIII Symposium on**. IEEE, 2016. p. 229-233.

SAURO, Jeff; LEWIS, James R. **Quantifying the user experience: Practical statistics for user research**. Morgan Kaufmann, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802308-2.00002-3>

SCHILD, Jonas et al. Applying Multi-User Virtual Reality to Collaborative Medical Training. In: **2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)**. IEEE, 2018. p. 775-776.
DOI: <https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446160>

SHARMA, Avinash et al. A mixed-reality training environment for upper limb prosthesis control. In: **2018 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)**. IEEE, 2018. p. 1-4.
DOI: <https://doi.org/10.1109/BIOCAS.2018.8584739>

SILVA, Luciano. Computação Holográfica com Microsoft Hololens. In: TREVISAN, Daniela et al, C. **Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada**. Sociedade Brasileira de Computação – SBC. Porto Alegre, p. 51-65, 2016.

SMELTZER, Suzanne C; BARE, Brenda G; HINKLE, Janice L; CHEEVER, Kerry H. **Tratado de Enfermagem Médico – Cirúrgica**. Volume 4. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan. 2009.

SOARES, Alcimar et al. The development of a virtual myoelectric prosthesis controlled by an EMG pattern recognition system based on neural networks. **Journal of Intelligent Information Systems**, v. 21, n. 2, p. 127-141, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1109/BIOCAS.2018.8584739>

SOMMERVILLE, I., **Engenharia de Software**, 8ª Edição. São Paulo: Pearson – Addison Wesley, 2007.

TAN, Apphia Jia Qi; LAU, Cindy Ching Siang; LIAW, Sok Ying. Paper title: Serious games in nursing education: An integrative review. In: **2017 9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)**. IEEE, 2017. p. 187-188. DOI: <https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2017.8056599>

THAYER, Richard; DORFMAN, Merlin. **System and Software Requirements Engineering** - Second Edition. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press Tutorial, 2000. 528p

TOKAREVA, Julia S. 2018. **The Difference Between Virtual Reality, Augmented Reality And Mixed Reality**. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/quora/2018/02/02/the-difference-between-virtual-reality-augmented-reality-and-mixed-reality/#993bb692d07c>> Acesso em: 03 junho. 2018.

TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson Augusto. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Editora SBC, 2006.

TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva (org.). **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: Editora SBC, 2018.

TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva, Claudio Kirner. Realidade Misturada. In: TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Porto Alegre: Editora SBC, 2018 – p. 02-80.

TULLIS, Thomas., ALBERT, William. **Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics**. Morgan Kaufmann, Boston. 2008.

VASEVA, Daniela. The Potential of Serious Games Based on Literary Plots to Develop Knowledge, Skills and Habitual Patterns. In: **2014 6th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)**. IEEE, 2014. p. 1-4.

DOI: <https://doi.org/10.1109/VS-Games.2014.7012168>

VUJAKLIJA, I.; FARINA, D.; ASZMANN, O. C. **New developments in prosthetic arm systems**. Vienna, Austria: Orthopedic Research and Reviews, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.2147/ORR.S71468>

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

Apêndice I

Questionário para Avaliação do Perfil do Indivíduo

Nome: _____ Data de Nascimento: _____
____/____/____

Profissão: _____ Experiência Profissional em anos: _____

1. Qual o seu grau de experiência com o uso de tecnologia e computadores:

☐ Excelente ☐ Ótimo ☐ Bom ☐ Ruim ☐ Péssimo

2. Conhece Realidade Aumentada?

☐ Sim ☐ Não ☐ Já ouviu falar

3. Conhece Realidade Misturada?

☐ Sim ☐ Não ☐ Já ouviu falar

4. Já realizou treinamento utilizando algum dispositivo tecnológico:

☐ Sim ☐ Não

Qual: _____

5. Já utilizou algum headset (capacete) de realidade aumentada? Qual?

☐ Sim ☐ Não

Qual: _____

Apêndice II

Formulário de Atividades

Nome: _____

TAREFAS

Ciclo de Tarefas: _____

Tarefa 01 – Abrir e Fechar a prótese virtual.

Tarefa 02 – Tocar o objeto virtual cubo play com a prótese virtual.

Tarefa 03 – Pegar o objeto virtual cilindro.

Tarefa 04 – Transportar objeto virtual no ponto inicial até o ponto final.

Tarefa 05 – Soltar o objeto virtual cilindro no ponto final suavemente.

| Ciclo | Tarefas | Tempo Gasto | Nº de Erros | Pedido de Ajuda | Comentários do Participante e Observações |
|-------|-----------|-------------|-------------|-----------------|---|
| _____ | Tarefa 01 | | | | |
| | Tarefa 02 | | | | |
| | Tarefa 03 | | | | |
| | Tarefa 04 | | | | |
| | Tarefa 05 | | | | |

| Comentários Gerais sobre a aplicação |
|--------------------------------------|
| |
| |
| |

Anexo I

Questionário de Avaliação de Usabilidade – PSSUQ

| | | Discordo fortemente | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Concordo fortemente | Na |
|----|--|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 | Em geral, estou satisfeito com o facilidade de utilização deste sistema. | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | <input type="radio"/> |
| 2 | Este sistema foi simples de utilizar | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| 3 | Consegui completar rapidamente as tarefas e cenários utilizando este sistema | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| 4 | Senti-me confortável a utilizar este sistema | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| 5 | Foi fácil aprender a usar este sistema. | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| 6 | Acredito que me tornaria rapidamente produtivo se utilizasse este sistema | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| 7 | O sistema deu mensagens de erros que me indicaram claramente como resolver os problemas | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| 8 | Sempre que cometi um erro durante a utilização do sistema, consegui recuperar de forma fácil e rápida | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| 9 | As informações (como ajuda on-line, mensagens na tela e outras documentações) fornecidas com o sistema foram claras. | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| 10 | Foi fácil encontrar a informação que precisava | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| 11 | A informação foi eficaz em ajudar-me a completar as tarefas e cenários. | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| 12 | A organização de informações sobre as telas do sistema foi clara. | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |

| | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|--|
| 13 | A interface * do sistema foi agradável. | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| 14 | Gostei de utilizar a interface deste sistema. | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| 15 | Este sistema tem todas as funcionalidades e capacidades que eu esperava. | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| 16 | Em geral, estou satisfeito com este sistema. | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| <p>* A "interface" inclui os itens que você usa para interagir com o sistema. Por exemplo, alguns componentes de a interface é o teclado, o mouse, o microfone e as telas (incluindo gráficos e linguagem)</p> | | | | | | | | | | | |