

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

**Acompanhamento remoto para a terapia do espelho
utilizando smartphone e realidade aumentada**

Yuri Nehase Zuliani Goulart Magagnatto

Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências
de Computação e Matemática Computacional (PPG-C²MC)

SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito:

Assinatura: _____

Yuri Nehase Zuliani Goulart Magagnatto

Acompanhamento remoto para a terapia do espelho utilizando smartphone e realidade aumentada

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional. *VERSÃO REVISADA*

Área de Concentração: Ciências de Computação e Matemática Computacional

Orientadora: Profa. Dra. Maria da Graca Campos Pimentel

USP – São Carlos
Junho de 2018

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Achille Bassi
e Seção Técnica de Informática, ICMC/USP,
com os dados inseridos pelo(a) autor(a)

M188a Magagnatto, Yuri Nehase Zuliani Goulart
 Acompanhamento remoto para a terapia do espelho
 utilizando smartphone e realidade aumentada / Yuri
 Nehase Zuliani Goulart Magagnatto; orientadora
 Maria da Graça Campos Pimentel. -- São Carlos, 2018.
 91 p.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
 em Ciências de Computação e Matemática
 Computacional) -- Instituto de Ciências Matemáticas
 e de Computação, Universidade de São Paulo, 2018.

 1. Interação homem-máquina. 2. Terapia
 ocupacional. 3. Realidade virtual. I. Pimentel,
 Maria da Graça Campos, orient. II. Título.

Yuri Nehase Zuliani Goulart Magagnatto

**Remote Assistance for Mirror Therapy using smartphone
and augmented reality**

Master dissertation submitted to the Institute of Mathematics and Computer Sciences – ICMC-USP, in partial fulfillment of the requirements for the degree Master Program in Computer Science and Computational Mathematics. *FINAL VERSION*

Concentration Area: Computer Science and Computational Mathematics

Advisor: Profa. Dra. Maria da Graca Campos Pimentel

**USP – São Carlos
June 2018**

Este trabalho é dedicado a todos aqueles que superaram seus medos. O medo é a porta que guarda um grande sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e aos meus pais, Luiz Antonio Magagnatto e Sandra Maria Zuliani Goulart Magagnatto, por serem a base da minha essência. Agradeço ao meu fiel escudeiro, Murmilo, por me acompanhar nos mais difíceis caminhos. Agradeço aos meus sogros, Edson Aparecido Garcia e Norma de Lourdes Crespilho Garcia, pelo apoio e incentivo. Agradeço a minha espetacular futura esposa, Ana Paula Garcia, por se manter presente em minhas decisões, me aconselhando e me apoiando nas mais variadas situações. Agradeço a minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Maria da Graça Campos Pimentel, pela compreensão, disponibilidade e direcionamento. Agradeço em geral a todos os meus amigos, professores e colegas que me apoiaram nesta jornada. Por último, mas não menos importante, agradeço ao órgão CNPq pelo financiamento do meu projeto de pesquisa.

*“Eis que eu estarei com vocês todos os dias,
até o fim do mundo.”
(Mt 28,20)*

RESUMO

MAGAGNATTO, Y. N. Z. G. **Acompanhamento remoto para a terapia do espelho utilizando smartphone e realidade aumentada**. 2018. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2018.

Soluções computacionais desenvolvidas para dispositivos móveis são cada vez mais comuns. A popularização de aplicativos móveis possibilitou o desenvolvimento de soluções para diversas áreas de grande potencial, como a área da saúde, entre elas a Terapia Ocupacional. Entre essas soluções, trabalhos apresentaram diversos métodos computacionais para o apoio à Terapia do Espelho. A terapia do espelho é um método que consiste na execução de exercícios com um membro saudável refletido em um espelho de modo que a visualização auxilie na redução da dor e na reabilitação do membro afetado. Essa terapia tem apresentado resultados, entre outros, na reabilitação para indivíduos que reportam dor do membro fantasma ou em recuperação pós-Acidente Vascular Cerebral (AVC). A literatura apresenta soluções computacionais para, entre outros, permitir a visualização do membro saudável a partir de tecnologias de realidade aumentada e de dispositivos vestíveis. Essas soluções muitas vezes são de difícil acesso e economicamente inviáveis. Um trabalho anterior, realizado em colaboração com equipe multidisciplinar, resultou na definição de um modelo de acompanhamento remoto que emprega dispositivos móveis para permitir o monitoramento de pacientes em tratamento por meio da terapia do espelho. Uma das limitações encontradas naquele trabalho foi o fato do terapeuta não conseguir acompanhar de maneira automática se o paciente está executando a terapia de maneira correta. Explorando essas contribuições e limitações, este trabalho teve como objetivo propor um modelo que permita o acompanhamento remoto da terapia do espelho com apoio de recursos de realidade aumentada. Como apoio computacional ao modelo, foi desenvolvida a aplicação para *smartphones* TEIRA (Terapia do Espelho Interativa com Realidade Aumentada) que, utilizada em conjunto com a tecnologia Google *Cardboard*, permite a execução da terapia do espelho com realidade aumentada. Além disso, com a integração do sistema TEIRA com o sistema de planejamento de intervenções ESPIM (Experience Sampling and Programmed Intervention Method), foi possível proporcionar um método de acompanhamento remoto com coleta de dados e vídeo. Consulta a especialistas indica que a solução apresenta benefícios potenciais para o monitoramento do paciente durante o acompanhamento remoto, que ajudem o paciente a executar a terapia de maneira correta.

Palavras-chave: reabilitação, terapia do espelho, realidade aumentada, dispositivos móveis, Google Cardboard.

ABSTRACT

MAGAGNATTO, Y. N. Z. G. **Remote Assistance for Mirror Therapy using smartphone and augmented reality**. 2018. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2018.

Computational solutions developed for mobile devices are increasingly common. The popularization of mobile applications enabled the development of solutions for several areas of great potential, such as the health area, including Occupational Therapy. Among these solutions, papers presented several computational methods to support Mirror Therapy. Mirror therapy is a method that involves performing exercises with a healthy limb reflected in a mirror so that visualization helps in reducing pain and in rehabilitating the affected limb. This therapy has shown results, among others, in rehabilitation for individuals who report phantom limb pain or in post-stroke recovery. The literature presents computational solutions to, among others, allow visualization of the healthy limb from technologies of augmented reality and wearable devices. These solutions are often difficult to access and economically unfeasible. Previous work, conducted in collaboration with a multidisciplinary team, resulted in the definition of a remote monitoring model that uses mobile devices to allow the monitoring of patients being treated by means of mirror therapy. One of the limitations found in this work was that the therapist was unable to automatically follow up if the patient was performing the therapy correctly. Exploring these contributions and limitations, this work aimed to propose a model that allows remote monitoring of mirror therapy with the support of augmented reality resources. As a computational support to the model, the application was developed for TEIRA (Interactive Mirror Therapy with Augmented Reality) which, used in conjunction with the Google Cardboard technology, allows the execution of mirror therapy with reality increased. In addition, with the integration of the TEIRA system with the ESPIM (Experience Sampling and Programmed Intervention Method) intervention system, it was possible to provide a remote monitoring method with data and video collection. Expert consultation indicates that the solution has potential benefits for patient monitoring during remote monitoring, which will help the patient perform the therapy correctly.

Keywords: rehabilitation, mirror therapy, augmented reality, smartphones, Google Cardboard.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Terapia do Espelho convencional | 24 |
| Figura 2 – Google <i>Cardboard</i> | 33 |
| Figura 3 – Encaixe do smartphone para completar o Google <i>Cardboard</i> | 34 |
| Figura 4 – VRBox. Fonte: <vrgamesfor.com> | 34 |
| Figura 5 – Modelo de <i>head-mounted display</i> . Fonte: Trojan <i>et al.</i> (2014). | 38 |
| Figura 6 – Realidade Virtual com uso de luva. Fonte: Bach <i>et al.</i> (2010). | 38 |
| Figura 7 – Vilimbs. Fonte: Correa-Agudelo <i>et al.</i> (2015) | 39 |
| Figura 8 – Dispositivo híbrido. Fonte: Rinderknecht <i>et al.</i> (2013). | 40 |
| Figura 9 – Reflexão Aumentada. Fonte: Hoermann <i>et al.</i> (2015) | 40 |
| Figura 10 – <i>Delayed mirrors visual feedback</i> . Fonte: Lee, Li e Fan (2015). | 41 |
| Figura 11 – Luvas com sensores e motores. Fonte: Hallam (2015). | 42 |
| Figura 12 – Dispositivo posicionado. Fonte: Correia (2015) | 47 |
| Figura 13 – Imagem capturada pelo dispositivo. Fonte: Correia (2015) | 47 |
| Figura 14 – Criação de um evento com três intervenções. | 52 |
| Figura 15 – Paciente sentado na mesa com o <i>Cardboard</i> preso na cabeça | 58 |
| Figura 16 – Ciclo de vida de design de interação. Fonte: Rogers, Sharp e Preece (2013). | 59 |
| Figura 17 – Diagrama de caso de uso do sistema TEIRA integrado ao ESPIM. | 62 |
| Figura 18 – Fluxo de informações entre as partes do sistema. | 64 |
| Figura 19 – Menu principal do TEIRA. | 66 |
| Figura 20 – Tela de enquadramento: inicial | 67 |
| Figura 21 – Tela de enquadramento: mão saudável selecionada | 67 |
| Figura 22 – Terapia iniciada | 68 |
| Figura 23 – Aviso de reposicionamento necessário | 68 |
| Figura 24 – Tela de enquadramento com espelho convencional | 70 |
| Figura 25 – Teste de lateralidade | 70 |
| Figura 26 – Telas do teste de lateralidade do TEIRA. | 71 |
| Figura 27 – Telas de sessões do TEIRA. | 72 |
| Figura 28 – Telas de exercícios do TEIRA. | 73 |
| Figura 29 – Configuração de uma aplicação externa no ESPIM <i>web</i> | 74 |
| Figura 30 – Acompanhamento remoto | 75 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Tabela comparativa de trabalhos relacionados. | 43 |
|--|----|

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 23 |
| 1.1 | Motivação | 25 |
| 1.2 | Objetivos | 25 |
| 1.3 | Resultados | 25 |
| 1.4 | Estrutura do documento | 26 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 29 |
| 2.1 | Terapia do Espelho | 29 |
| 2.1.1 | Motor Imagery Program | 30 |
| 2.1.2 | <i>Protocolo de St Gallen</i> | 30 |
| 2.2 | Conceitos e tecnologias | 31 |
| 2.2.1 | <i>Realidade Virtual e Realidade Aumentada</i> | 31 |
| 2.2.2 | <i>Dispositivos Móveis</i> | 32 |
| 2.2.3 | <i>Android</i> | 32 |
| 2.2.4 | <i>O Head-Mounted Display Google Cardboard</i> | 33 |
| 2.2.5 | <i>ESM</i> | 34 |
| 2.3 | Considerações finais | 35 |
| 3 | TRABALHOS RELACIONADOS: REALIDADE AUMENTADA | 37 |
| 3.1 | Apoio com <i>Head-mounted display</i> | 37 |
| 3.2 | Apoio com sensores na cabeça ou nas mãos | 39 |
| 3.3 | Apoio com dispositivos externos | 40 |
| 3.4 | Considerações finais | 42 |
| 4 | TRABALHOS COMPLEMENTARES | 45 |
| 4.1 | MTEIR: Modelo para terapia do espelho interativa remota | 45 |
| 4.1.1 | <i>Tei</i> | 46 |
| 4.1.2 | <i>TeiT</i> | 48 |
| 4.1.3 | <i>Limitações</i> | 49 |
| 4.2 | ESPIM | 50 |
| 4.2.1 | <i>Criação de programa de acompanhamento no ESPIM web</i> | 51 |
| 4.2.2 | <i>ESPIM mobile</i> | 52 |
| 4.2.3 | <i>Configuração de uma aplicação externa</i> | 53 |
| 4.2.4 | <i>Coleta de dados e resultados</i> | 53 |

| | | |
|---------|--|-----------|
| 4.3 | Considerações finais | 53 |
| 5 | TERAPIA DO ESPELHO COM REALIDADE AUMENTADA E ACOMPANHAMENTO REMOTO | 55 |
| 5.1 | Modelo para terapia do espelho interativa remota com realidade aumentada (MTEIR-RA) | 55 |
| 5.1.1 | <i>Reflexão virtual do membro saudável com o uso de óculos de realidade aumentada (Google Cardboard)</i> | <i>57</i> |
| 5.2 | Design centrado no usuário | 59 |
| 5.2.1 | <i>Modelo simples de ciclo de vida de design de interação</i> | <i>59</i> |
| 5.2.2 | <i>Levantamentos de requisitos</i> | <i>60</i> |
| 5.2.3 | <i>Modelagem do sistema</i> | <i>61</i> |
| 5.2.4 | <i>Implementação</i> | <i>64</i> |
| 5.3 | TEIRA (Terapia do Espelho Interativa com Realidade Aumentada) | 65 |
| 5.3.1 | <i>Menu principal</i> | <i>65</i> |
| 5.3.2 | <i>Sessão de terapia do espelho</i> | <i>65</i> |
| 5.3.2.1 | <i>Terapia do Espelho RA (realidade aumentada)</i> | <i>66</i> |
| 5.3.2.2 | <i>Terapia do espelho tradicional com captura de vídeo</i> | <i>69</i> |
| 5.3.3 | <i>Teste de lateralidade</i> | <i>70</i> |
| 5.3.4 | <i>Sessões</i> | <i>71</i> |
| 5.3.5 | <i>Exercícios</i> | <i>72</i> |
| 5.3.6 | <i>Configuração do acompanhamento remoto utilizando o ESPIM web</i> | <i>72</i> |
| 5.3.7 | <i>Realizando um acompanhamento remoto</i> | <i>74</i> |
| 5.4 | Avaliação Heurística | 75 |
| 5.4.1 | <i>Realizar uma sessão de terapia do espelho com realidade aumentada agendada por meio do programa ESPIM web</i> | <i>76</i> |
| 5.4.1.1 | <i>Problemas encontrados</i> | <i>76</i> |
| 5.4.1.2 | <i>Soluções aplicadas</i> | <i>77</i> |
| 5.4.2 | <i>Após realizar a sessão agendada, verificar se o vídeo capturado na sessão foi salvo em nuvem.</i> | <i>77</i> |
| 5.4.2.1 | <i>Problema encontrado</i> | <i>77</i> |
| 5.4.2.2 | <i>Solução aplicada</i> | <i>77</i> |
| 5.4.3 | <i>Realizar uma sessão de terapia do espelho com realidade aumentada diretamente pelo aplicativo TEIRA, sem o agendamento pelo ESPIM web (estilo livre).</i> | <i>77</i> |
| 5.4.3.1 | <i>Problemas encontrados</i> | <i>77</i> |
| 5.4.3.2 | <i>Soluções aplicadas</i> | <i>78</i> |
| 5.4.4 | <i>Consultar um determinado exercício para tirar dúvidas.</i> | <i>78</i> |
| 5.4.4.1 | <i>Problemas encontrados</i> | <i>78</i> |
| 5.4.4.2 | <i>Soluções aplicadas</i> | <i>78</i> |

| | | |
|-----|---|----|
| 5.5 | Consulta a três especialistas em Terapia do Espelho | 78 |
| 5.6 | Considerações finais | 81 |
| 6 | DISCUSSÃO E CONCLUSÃO | 83 |
| | REFERÊNCIAS | 87 |

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a popularização de tecnologias computacionais têm possibilitado a criação de diversas soluções para a área da saúde. Dentre essas soluções, podemos destacar aplicações que utilizam *smartphones* para dar apoio ao monitoramento cardíaco, como proposto por [Chung e Guise \(2015\)](#); aplicações que oferecem suporte a diagnósticos, como na contribuição de [Vardell e Bou-Crick \(2012\)](#); aplicações que colaboram para prevenção de doenças cardiovasculares, como proposto por [Neubeck et al. \(2015\)](#), aplicações que oferecem recursos para apoio a profissionais de enfermagem como no trabalho de [Havelka \(2011\)](#), entre outros.

A pesquisa apresentada nesta dissertação se realiza no contexto de soluções computacionais para a área da saúde, no qual serão utilizados conhecimentos de Sistemas Web e Multimídia Interativos. A solução computacional descrita no decorrer dessa dissertação foi desenvolvida com o propósito de dar apoio a área de Terapia Ocupacional – mais especificamente, no apoio à técnica Terapia do Espelho.

A Terapia do Espelho foi proposta por [Ramachandran e Rogers-Ramachandran \(1996\)](#) com o objetivo de auxiliar no tratamento da dor do membro fantasma. O fenômeno da dor fantasma ocorre quando o paciente tem a sensação de dor no membro amputado, ou consciência de dor na extremidade amputada. O método consiste na utilização de um espelho que é colocado de maneira perpendicular à frente do paciente. O paciente deve então realizar exercícios com o seu membro sadio voltado para o lado refletor do espelho, focando sua visão no reflexo do membro saudável gerado pelo espelho. Seu membro afetado ou com amputação deve permanecer escondido atrás do espelho durante toda a execução dos exercícios. O objetivo dessa terapia é proporcionar ao paciente a ilusão de que seu membro afetado está se movendo de maneira síncrona com seu membro sadio (ver [Figura 1](#)). Essa ilusão pode trazer benefícios no tratamento de várias patologias, que são relatados no [Capítulo 2](#). Esse método geralmente é aplicado durante um longo período de tempo, que muitas vezes pode durar meses, sendo que as sessões devem ser executadas várias vezes ao dia, como observado por [Grünert-Plüss et al. \(2008\)](#).

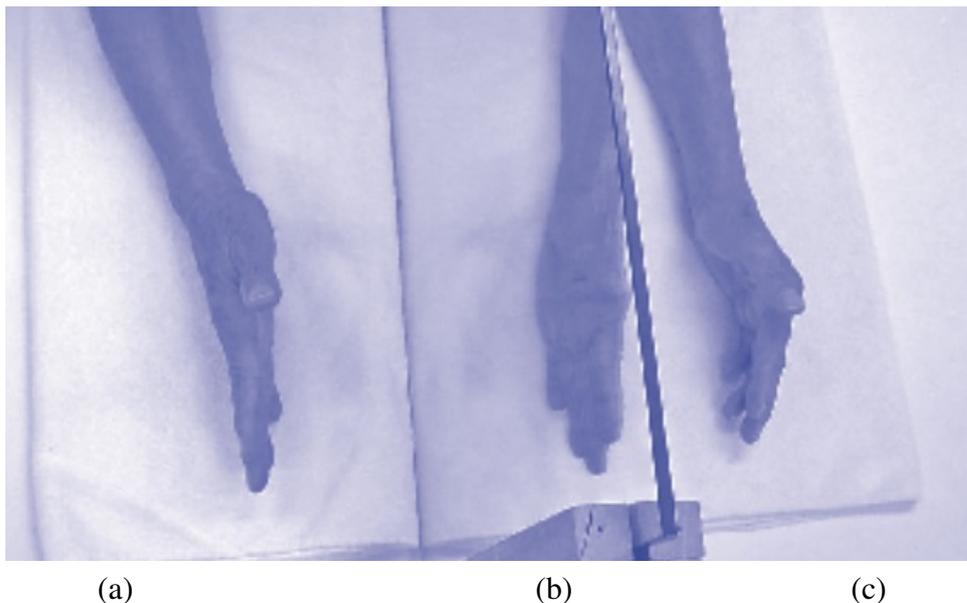


Figura 1 – Terapia do Espelho convencional. (a) Braço direito (saudável). (b) Reflexo do braço direito no espelho. (c) Braço esquerdo em tratamento. Fonte: [Grünert-Plüss et al. \(2008\)](#).

Com o avanço da tecnologia computacional, novos métodos foram propostos para dar suporte à Terapia do Espelho tradicional. Esses métodos têm como objetivo proporcionar uma terapia mais eficiente. Como sumarizado no Capítulo 3, a literatura reporta, entre outros, trabalhos que empregam técnicas de realidade virtual com o uso de câmeras, luvas instrumentadas com sensores, monitores, *joysticks* e aparelhos robóticos para estimulação dos membros.

Uma das limitações encontradas nessas contribuições foi a dificuldade de mobilidade. Na maioria dos casos, como a terapia do espelho deve ser repetida várias vezes ao dia, isso torna indispensável o uso de um aparelho que seja móvel e fácil de manusear, como é o caso do espelho tradicional. Outra limitação encontrada foi o uso de materiais caros e específicos, o que dificulta sua adoção — por exemplo, aparelhos customizados com telas e câmeras.

Em trabalhos anteriores do grupo, [Correia \(2015\)](#) realizou um levantamento de requisitos com equipe multidisciplinar e propôs um modelo de acompanhamento remoto para o qual foram desenvolvidos protótipos que fazem uso de *smartphones* para registro e acompanhamento de pacientes. A contribuição de [Correia \(2015\)](#) teve como objetivo oferecer uma alternativa para o problema alertado por [Darnall e Li \(2012\)](#): a dificuldade de acompanhamento, por parte do terapeuta, do paciente que realiza sessões de terapia remotamente — em sua residência, por exemplo. Outra dificuldade que [Correia \(2015\)](#) objetivou solucionar foi o fato do paciente poder se desmotivar durante o decorrer do tratamento por falta de um acompanhamento mais próximo do terapeuta, problema apresentado pelos terapeutas ocupacionais em suas entrevistas.

Considerando cenários em que o paciente realiza sessões de terapia remotamente, uma limitação é garantir que, durante uma sessão, o campo visual do paciente esteja focado no exercício sendo realizado — conforme recomendado pelos protocolos de Terapia do Espelho,

como destacado por [Grünert-Plüss et al. \(2008\)](#).

1.1 Motivação

Pesquisas que se seguiram mostraram a eficácia da Terapia do Espelho também em outros contextos como, por exemplo, na reabilitação funcional da mão — para a qual [Grünert-Plüss et al. \(2008\)](#) contribuem com uma revisão da literatura. Como outro exemplo, é grande a quantidade de pessoas que podem ser beneficiadas com a terapia do espelho no tratamento de hemiplegia, como destacado por [Dalpian, Grave e Périco \(2013\)](#), doença que é uma das mais frequentes no Brasil, como observado por [Almeida \(2012\)](#).

1.2 Objetivos

Este trabalho teve como objetivo propor um modelo de acompanhamento remoto para terapia do espelho utilizando realidade aumentada. Como foco principal desse modelo, objetivamos garantir que durante a execução dos exercícios em uma sessão da terapia, o paciente seja induzido a manter seu campo visual focado no reflexo do membro saudável — conforme recomendado pelos protocolos de Terapia do Espelho, como destacado por [Grünert-Plüss et al. \(2008\)](#). Como um dos objetivos secundários, essa solução permitiu a possibilidade de coleta de dados durante o tratamento, para que esses dados possam ser avaliados pelo terapeuta a fim de melhorar ou mudar as estratégias do tratamento. Para isso foi utilizado o Método de Amostragem de Experiências (ESM) ([LARSON, 1983](#)), método de coleta de informações do indivíduo em seu ambiente natural, juntamente com conceitos de computação ubíqua ([WEISER, 1993](#)). Outro objetivo secundário foi utilizar *smartphone*, como proposto por [Correia \(2015\)](#), juntamente com óculos de realidade aumentada, garantindo mobilidade e custo aceitável (para pessoas que já possuem um *smartphone*).

1.3 Resultados

Como prova de conceito no contexto de terapia do espelho, foi desenvolvido, em parceria com especialistas em Terapia do Espelho, o sistema TEIRA (terapia do espelho interativa com realidade aumentada), aplicação para dispositivos móveis que permitiu a reflexão virtual do membro saudável com o uso de óculos de realidade aumentada. O método consiste em capturar a imagem do membro sadio a refleti-la no lado oposto da tela, criando assim um membro espelhado que se movimenta de maneira síncrona com o membro saudável. Com o *smartphone* inserido no óculos de realidade aumentada (Google Cardboard) é possível gerar uma perspectiva em primeira pessoa desse espelhamento, criando assim uma perspectiva em primeira pessoa. Utilizando os sensores do *smartphone* pudemos limitar a área em que o usuário deve se concentrar, resolvendo

assim o problema do paciente perder o foco no reflexo do membro durante a execução de uma sessão da terapia.

Com a integração do aplicativo TEIRA a ferramenta ESPIM (Experience Sampling and Programmed Intervention Method) (ZAINE *et al.*, 2016), conseguimos proporcionar um modelo de acompanhamento remoto, no qual o terapeuta pode configurar as sessões de seus pacientes e coletar dados importantes, como: hora da realização da sessão, tempo de duração, quantas vezes o paciente perdeu o foco, entre outros. Como principais contribuições, destacadas pelos terapeutas em reuniões periódicas, podemos citar que o aplicativo apresenta forte indício de poder proporcionar maior motivação durante o processo da terapia, por se tratar de uma tecnologia atual. Outra contribuição foi o fato de possibilitar que o terapeuta certifique-se que o paciente está realizando a terapia de maneira correta — por meio de análise da gravação da execução dos exercícios em primeira pessoa e dos dados coletados automaticamente informando os intervalos que o paciente dispersou o foco do reflexo do membro saudável. Por fim, os terapeutas fizeram uma ressalva dizendo que a ferramenta apresenta a vantagem de ser mais fácil de ser transportado se comparado com o espelho tradicional, proporcionando uma maior facilidade de uso em ambientes não domiciliares. Como trabalhos futuros, a solução computacional gerada a partir desse trabalho será testada com usuários reais, sob a supervisão dos terapeutas mencionados nesta dissertação.

1.4 Estrutura do documento

Os demais capítulos desta dissertação estão estruturados como segue:

- O Capítulo 2 apresenta conceitos básicos para o entendimento da proposta, como fundamentos para o entendimento da técnica da terapia e tecnologias utilizadas neste trabalho.
- O Capítulo 3 destaca contribuições de trabalhos relacionados que aplicam a técnica da terapia do espelho utilizando métodos computacionais.
- O Capítulo 4 apresenta o trabalho sobre o modelo de acompanhamento remoto para pacientes que realizam a terapia do espelho, desenvolvido por Correia (2015) e o ferramental ESPIM (ZAINE *et al.*, 2016), no qual o autor deste trabalho teve participação. Esse ferramental será utilizado como suporte para o método adotado neste trabalho.
- No Capítulo 5 é apresentado o modelo e o processo de desenvolvimento que originou a solução computacional proposta neste trabalho juntamente com a avaliação de usabilidade e resultados obtidos por questionários com especialistas.
- Por último apresentamos a conclusão deste trabalho, onde discutimos as contribuições, limitações e trabalhos futuros.

Assim, no capítulo a seguir serão apresentados conceitos básicos para o entendimento da proposta, como fundamentos para o entendimento da técnica da terapia e tecnologias utilizadas neste trabalho.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordados conceitos importantes para a compreensão do trabalho realizado. Esses conceitos estão divididos em conceitos relacionados à Terapia do Espelho, e conceitos relacionados à tecnologias que podem ser aplicadas para o desenvolvimento de ferramental de suporte à Terapia do Espelho. Os referidos conceitos são: Terapia do Espelho, *Motor Imagery Program*, Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Dispositivos Móveis, Android e Google Cardboard.

2.1 Terapia do Espelho

O objetivo inicial da Terapia do Espelho foi reduzir a dor do membro fantasma: uma sensação que pode surgir em pacientes que tiveram algum membro amputado, que sentem como se o membro ainda estivesse ligado ao seu corpo. A Terapia do Espelho foi proposta em 1996 em um estudo realizado com 10 pacientes que possuíam dores no membro fantasma e obteve bons resultados na redução da dor, como reportado em [Ramachandran e Rogers-Ramachandran \(1996\)](#).

O método proposto para a Terapia do Espelho consiste em utilizar um espelho colocado perpendicularmente em frente à linha média do paciente, de modo que o lado espelhado fique virado para o membro não afetado. Assim, o lado não espelhado deve ficar virado para o membro afetado, como indicado na [Figura 1](#). Em seguida, o paciente deve movimentar o membro saudável concentrando sua visão no reflexo do mesmo, fazendo com que o membro afetado permaneça escondido atrás do espelho. O paciente não deve usar objetos que permitam o reconhecimento de um membro específico, tais como relógios ou pulseira, e deve olhar sempre no reflexo apresentado no espelho, como destacado por [Grünert-Plüss et al. \(2008\)](#).

Como consequência do *feedback* visual proporcionado pelo reflexo do membro sadio se movendo, é possível fazer com que o cérebro reaprenda funções perdidas por meio de alterações na topografia cortical, chamada de plasticidade neural, como detalhado nos estudos de

Ramachandran e Rogers-Ramachandran (2000) e Grünert-Plüss *et al.* (2008). Como resultado, são observadas implicações positivas tanto no controle da dor como na reabilitação funcional.

Entre pesquisas encontradas na literatura, podemos identificar a terapia do espelho como um importante método que pode auxiliar no tratamento de outras patologias como, por exemplo: sequelas causadas por acidente vascular cerebral como apresentado por Ramachandran *et al.* (1999); no caso das dores e outras sensações associadas à Síndrome dolorosa regional complexa do tipo 1) como no trabalho de Cacchio *et al.* (2009); e no caso da cirurgia de mão e de lesão do plexo braquial, como discutido por Ezendam, Bongers e Jannink (2009) e Arya e Pandian (2013), respectivamente.

2.1.1 Motor Imagery Program

Para apoio à Terapia do Espelho, pesquisadores como Moseley (2006) e Moseley, Gallace e Spence (2008) propõem o uso de um programa de classificação da imagem motora (MIP, do inglês *Motor Imagery Program*), baseado na ativação sequencial de redes pré-motoras e motoras corticais. Essa abordagem inclui três tarefas:

1. **Reconhecimento de lateralidade:** O paciente deve olhar para uma lista de imagens, cada imagem com um membro aleatório (direito ou esquerdo). O paciente deve então tentar identificar qual é o lado que o membro pertence.
2. **Imaginar movimentos:** O paciente deve imaginar a execução de movimentos com a mão afetada.
3. **Terapia do espelho:** Execução da terapia do espelho descrita anteriormente.

A observação do membro em movimento de outro indivíduo também pode gerar um aumento da excitabilidade motora cortical e medular. Isto ocorre pela atuação dos neurônios espelho, segundo Moseley, Gallace e Spence (2008). Os resultados obtidos pelos autores indicam que o programa MIP apresentou resultados satisfatórios para indivíduos com CRPS 1.

2.1.2 Protocolo de St Gallen

No estudo apresentado por Grünert-Plüss *et al.* (2008) foram avaliados 52 pacientes submetidos ao tratamento da terapia do espelho. O objetivo desse estudo foi avaliar os pacientes com diferentes tipos de diagnósticos. Um ponto importante observado foi que a repetição diária do tratamento teve extrema importância para o sucesso da terapia. Neste contexto, o paciente deve estar motivado e determinado a seguir o tratamento conforme o planejamento. O estudo permitiu aos autores identificar pontos importantes, que foram selecionados como pré-requisitos para o paciente iniciar o método de terapia:

- O terapeuta deve explicar ao paciente os conceitos e propósitos do tratamento utilizando o método da terapia do espelho.
- Um documento informativo sobre a terapia do espelho deve ser entregue ao paciente.

- O paciente deve estar disposto e motivado durante todo o período do tratamento.
- As sessões da terapia do espelho devem ocorrer em um ambiente silencioso.
- O terapeuta deve planejar e definir um programa de exercícios que serão realizados pelo paciente em casa.
- O progresso deve ser documentado em um diário.
- Uma avaliação é feita na próxima sessão com o terapeuta a fim de avaliar o progresso, e se necessário, fazer mudanças no programa de exercícios.

Nesse estudo de [Grünert-Plüss et al. \(2008\)](#), cada paciente foi tratado individualmente conforme seu diagnóstico e desempenho, e a terapia foi interrompida em casos de aumento de dor no membro afetado. A terapia geralmente terminava quando os pacientes não obtinham resultados benéficos ou quando o objetivo era alcançado com sucesso. A duração média das sessões iniciais era de 5 a 10 minutos, que eram executadas em até 6 vezes ao dia. Dentre os 52 pacientes contemplados pelo estudo, 80% obtiveram sucesso, que foi determinado por redução da dor, redução de medicamentos para dor e melhora funcional do membro afetado.

2.2 Conceitos e tecnologias

Esta seção apresenta conceitos e tecnologias utilizadas no desenvolvimento de ferramental de suporte à Terapia do Espelho apresentado nesta dissertação: Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Dispositivos Móveis, Android e Google *Cardboard*. As tecnologias listadas abaixo serão utilizadas para a criação de um aplicativo que possa substituir a terapia tradicional, com o diferencial de guiar a visão do paciente para a área de foco correto (reflexo do membro saudável).

2.2.1 Realidade Virtual e Realidade Aumentada

Realidade Virtual é uma forma de interface do usuário, na qual o mesmo pode visualizar ambientes tridimensionais criados em um ambiente computacional, executar movimentos e interagir com objetos em tempo real, como sumarizado por [Kirner e Siscoutto \(2007\)](#). A interação pode ser executada por meio de habilidades intuitivas do usuário como comandos por voz, gestos, movimentos com o corpo, entre outros. Para isso, faz-se uso de dispositivos de entrada não convencionais tais como *head-mounted display*, câmeras, microfones e sensores de movimento. Diferentemente das interfaces tradicionais nas quais o usuário controla o computador, a realidade virtual busca a imersão do mesmo, criando a impressão de atuar de dentro do ambiente virtual.

[Kirner e Siscoutto \(2007\)](#) observam que na Realidade Aumentada o intuito não é apenas criar um ambiente virtual, mas sim combinar o ambiente real com elementos virtuais. Neste caso, os usuários mantêm sua presença no mundo real, o qual por sua vez é enriquecido por elementos gerados virtualmente.

2.2.2 Dispositivos Móveis

O avanço da tecnologia tem colaborado cada vez mais para o desenvolvimento de dispositivos móveis. Esse avanço possibilitou que tais dispositivos deixassem de executar apenas tarefas simples e pudessem executar tarefas mais complexas como processamento multimídia, reconhecimento de localização, *streaming* de vídeo e realidade aumentada, como observado por [Gao et al. \(2013\)](#).

Nos últimos anos, a demanda e a utilização desses dispositivos móveis têm aumentado consideravelmente. Segundo a [IDC Brasil \(2015\)](#), a comercialização de *smartphones* no Brasil cresceu 55% em 2014 em relação a 2013. Uma pesquisa realizada no Brasil pela [The Nielsen Company \(2015\)](#) mostrou que dispositivos móveis estão cada vez mais acessíveis para as classes sociais mais baixas. Essa pesquisa também observou um aumento de 16,7% no número de pessoas que utilizaram *smartphones* para navegar na Internet no primeiro semestre de 2015, em relação ao semestre anterior. Em nível mundial, estudo divulgado pelo [The Statistics Portal \(2015\)](#) observou que em 2016 cerca de 60% da população possuía um aparelho celular, sendo a estimativa de que em 2019 esse valor passe para 67%. O estudo da [The Statistics Portal \(2015\)](#) ainda estima que, enquanto em 2012 a proporção de smartphones entre os aparelhos celulares era de 25%, é esperado que esse valor passe para 50% em 2018.

A escolha do uso de *smartphones* para dar suporte a este projeto deve-se a grande quantidade de pessoas que já possuem esses dispositivos e o utilizam em seu dia a dia, conforme apresentado no parágrafo acima.

2.2.3 Android

Para o desenvolvimento do protótipo do aplicativo móvel desenvolvido no decorrer deste trabalho, foi utilizada a tecnologia Android da [Google \(2014\)](#). Android é o nome do sistema operacional *open source* desenvolvido pela [Google](#) a partir do sistema operacional Linux. Entre os dispositivos que fazem uso do Android, podemos listar smartphones, tablets, relógios, TVs e carros. Atualmente o sistema Android se encontra na versão 8.0 (Oreo).

Além da vasta documentação e de grandes comunidades organizadas sobre a temática do Android, o sistema é líder de mercado em relação a sistemas concorrentes. Em 2015, o sistema Android dominou 82.8% do mercado mundial de sistemas operacionais para *smartphones* segundo relatório da [IDC \(2015\)](#).

Considerando a abrangência e a importância do Android, e o custo acessível de muitos smartphones que os utilizam, o protótipo implementado como prova de conceito do trabalho apresentado nesta dissertação foi implementado nessa plataforma.

2.2.4 O Head-Mounted Display Google Cardboard

Definido como um Head-Mounted Display (HMD) binocular por ter uma lente em frente de cada olho, o dispositivo vestível Google *Cardboard* foi lançado pela Google (2016) originariamente para ser utilizado como uma peça de papelão como ilustrado na Figura 2. O dispositivo tem como objetivo permitir o uso de um *smartphone* para visualização de ambientes 3D (em primeira pessoa) que podem ser explorados por meio de movimentos que fazem uso dos sensores (acelerômetro e giroscópio) normalmente presentes nos *smartphones*.

Uma das principais características do Google Cardboard é ser uma alternativa muito mais econômica do que outros *Head-Mounted Display* disponíveis no mercado, como observado por Yoo e Parker (2015).

O Google Cardboard é montado como uma caixa de papelão com duas lentes (uma para cada olho) com manuseio semelhante a um binóculos convencional (Figura 2). Com o *smartphone* inserido no local indicado na Figura 3, o Google Cardboard divide a tela em duas (lado esquerdo e direito), gerando duas imagens distintas (uma para cada olho), o que permite a visualização de objetos e ambientes em 3D.

Além de possibilitar a visualização de imagens e filmes em 3D, o *Google Cardboard* fornece suporte a vários aplicativos e jogos que utilizam realidade aumentada e virtual, proporcionando a chamada “imersão” em ambientes reais e fictícios. O sistema Android conta com bibliotecas prontas para facilitar que os desenvolvedores criem aplicativos que possam ser usados com o Google Cardboard.

As características do Google Cardboard, e a disponibilidade versões alternativas mais robustas e confortáveis como a ilustrada na Figura 4, foram determinantes na escolha dessa plataforma para o desenvolvimento do trabalho reportado nesta dissertação.

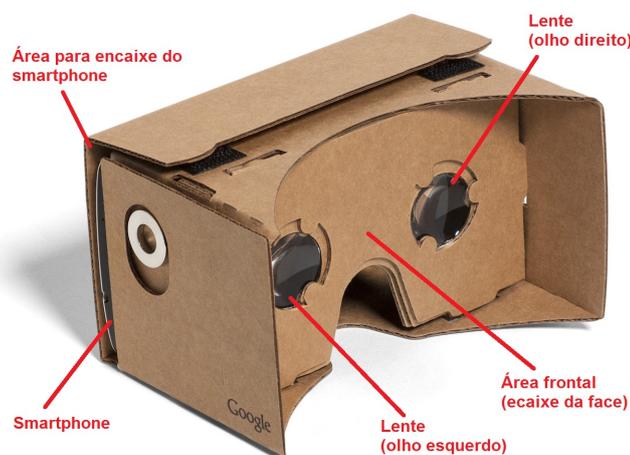


Figura 2 – *Head-Mounted Display* Google Cardboard: a área frontal possui encaixe anatômico para o posicionamento da face. As lentes proporcionam uma visão expandida da tela do smartphone, bloqueando qualquer imagem externa. Fonte: (GOOGLE, 2016).

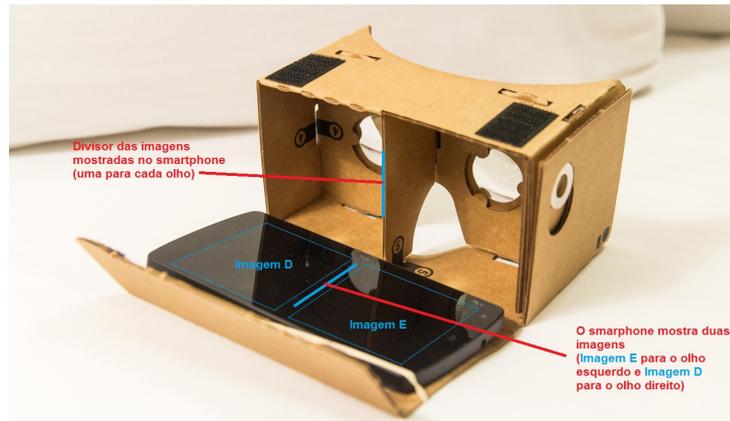


Figura 3 – Encaixe do smartphone para completar o Google Cardboard: a tela do smartphone é dividida em duas, fazendo com que cada olho enxergue um ponto de vista diferente. Fonte: (GOOGLE, 2016).



Figura 4 – VRBox. Fonte: <vrgamesfor.com>

2.2.5 ESM

O ESM (*Experience Sampling Method*), ou Método de Amostragem de Experiências, é um método oriundo da área de Psicologia que tem como objetivo coletar informações sobre um determinado indivíduo (ou grupo de indivíduos) em seu ambiente natural, ou cotidiano, como proposto por Larson (1983). O ESM possibilita a captura de informações de comportamentos, pensamentos e sentimentos em tempo real das ações a serem estudadas, evitando assim que o indivíduo tenha que relembra-los. Alguns autores utilizam o termo EMA (*Ecological Momentary Assessment*) para fazer referência à mesma abordagem, como é o caso dos trabalhos de Intille *et al.* (2016), na área de Computação, na área da Computação aplicada à Saúde como no trabalho de Swendeman *et al.* (2015), e na área de Psicologia, como indicado no survey de Shiffman, Stone e Hufford (2008).

Larson (1983) destaca que originariamente o método ESM fazia uso de questionários de papel e dispositivos de aviso (*pager*). O indivíduo recebia um alerta em horários determinados, o qual indicava que era o momento de responder questionário em papel no qual reportava os seus

sentimentos naquele momento.

Com o uso de recursos como *smartphones*, é possível atualmente a utilização de aplicativos que atuam como alertas, que podem ser disparados em determinado horário ou frequência, ou em caso da execução de uma determinada ação ou situação identificada por meio de sensores, como permitido na plataforma proposta por [Baxter, Avrekh e Evans \(2015\)](#). Além da vantagem desses questionários serem enviados em tempo real para os pesquisadores, também é possível a captura de outros tipos de dados como: localização, captura de imagem, áudio, luminosidade do ambiente, sensores, entre outros. O uso de imagens capturadas, por exemplo foi utilizado na pesquisa de [Yue et al. \(2014\)](#). Outra vantagem desses aplicativos é que eles podem ser configurados por pesquisadores de outras áreas, não sendo necessário conhecimento de técnicas de programação e jargões da área da computação.

A ampla utilização de *smartphones* tem sido de particular importância para pesquisas que fazem uso desse tipo de metodologia, como apresentam em seu survey [Berkel, Ferreira e Kostakos \(2017\)](#).

O método ESM foi estendido no modelo ESPIM (Experience Sampling and Programmed Intervention Method), como sumarizado por [Zaine et al. \(2016\)](#). O trabalho reportado nesta dissertação fez uso do método ESPIM (vide [Seção 4.2](#)), como qual o mestrando teve a oportunidade de contribuir durante sua pesquisa.

2.3 Considerações finais

Neste capítulo foram sumarizadas informações importantes relacionadas ao método da terapia do espelho e a tecnologias importantes utilizadas deste trabalho. No próximo capítulo serão apresentados os principais trabalhos relacionados encontrados na literatura.

TRABALHOS RELACIONADOS: REALIDADE AUMENTADA

A Ciência da Computação tem contribuído com o desenvolvimento e o aprimoramento de soluções no âmbito da Terapia Ocupacional. Várias ferramentas e soluções automatizadas já se encontram disponíveis para aplicabilidade da terapia do espelho. O foco deste capítulo é investigar a aplicação de inovações tecnológicas para a implementação de ferramentas de apoio à terapia do espelho, suas atuais limitações e como estão relacionadas com o projeto desta dissertação. Neste capítulo serão apresentadas as principais soluções computacionais encontradas na literatura.

3.1 Apoio com *Head-mounted display*

Trojan *et al.* (2014) utilizou um *head-mounted display* com câmeras acopladas em um tipo de capacete (Figura 5). As câmeras serviram para gravar o membro sadio e espelha-lo na tela em tempo real. O sistema conta com quatro tipos de tarefas distintas: flexão de dedos, encaixar a mão em determinada posição, mover uma cobra pela tela (estilo de jogo *snake*) e mover uma bola virtual. O desempenho do paciente no decorrer das tarefas é salvo em um servidor, que podem ser acompanhados remotamente. Além de proporcionar uma terapia com um alto grau de realismo, o trabalho teve como objetivo manter a motivação do paciente por meio de um método mais dinâmico.

O estudo de Kang *et al.* (2012) teve como objetivo delinear as mudanças na excitabilidade corticoespinal provocadas pela visualização do reflexo do braço. Para isso foi comparado o uso do espelho tradicional com o virtual (utilizado um *head-mounted display* e um controle com sensor de ângulo e articulação). Mantendo o braço afetado imóvel, os participantes foram submetidos a tarefa de mover objetos com o braço saudável observando o reflexo do braço afetado. Como resultado, obtiveram que a excitabilidade corticoespinal foi facilitada com o uso



Figura 5 – Modelo de *head-mounted display* para gravação dos membros e exibição do membro espelhado via realidade aumentada. Fonte: [Trojan et al. \(2014\)](#).

do espelho virtual.

A fim de proporcionar uma realidade virtual mais realista, o trabalho de [Bach et al. \(2010\)](#) faz uso de uma luva com sensores e um *head-mounted display* (Figura 6). Por meio de um *scanner* de ressonância magnética é gerado um modelo 3D do paciente. Em um ambiente virtual, o paciente move a mão saudável com a luva. Seus movimentos são detectados pelos sensores e assim um reflexo da mão saudável é gerado no lado oposto da tela.

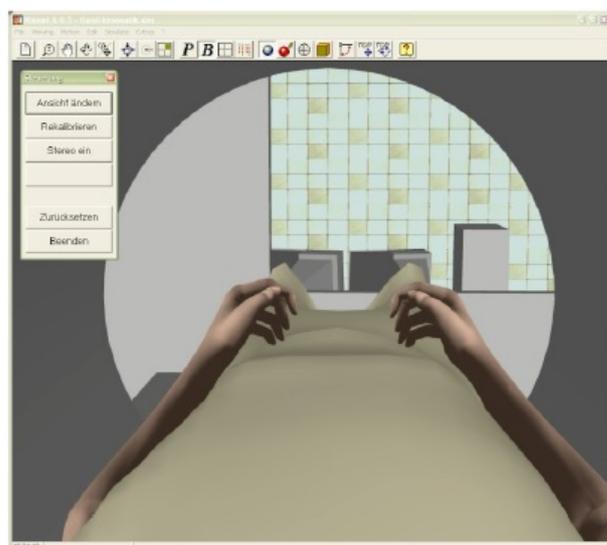


Figura 6 – Realidade Aumentada com uso de luva. Modelo da imagem virtual gerada pelo movimento da luva junto com seu reflexo. Fonte: [Bach et al. \(2010\)](#).

Como alternativa à terapia tradicional para pacientes com os 2 membros amputados, [Oouchida e Izumi \(2012\)](#) projetam a imagem de membros saudáveis estimulando os neurônios espelho. Um vídeo com exercícios dos membros visualizados em primeira pessoa é previamente gravado. Mediante um *head-mounted display*, o paciente consegue ver essas gravações e tenta simular a execução dos exercícios em sincronia.

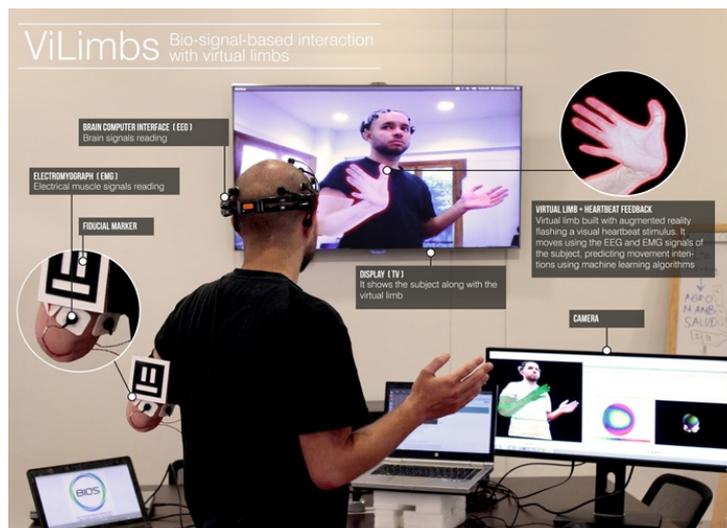


Figura 7 – Por meio da câmera e dos sensores o membro faltante é recriado na tela, podendo ser controlado pelo paciente amputado. Fonte: [Correa-Agudelo et al. \(2015\)](#).

3.2 Apoio com sensores na cabeça ou nas mãos

O número de vítimas de conflitos na Colômbia que necessitaram passar por processos de amputação motivou o trabalho de [Correa-Agudelo et al. \(2015\)](#). O objetivo desta proposta é aplicar uma técnica realista de suporte a terapia do espelho com soluções de realidade aumentada para proporcionar uma terapia mais eficiente. O trabalho foi dividido em 3 módulos: processamento de sinal, módulo de visão e experiência multissensorial. Os módulos são responsáveis por coletar sinais bioelétricos de zonas da extremidade do membro (área da amputação) e da cabeça fazendo uma projeção de movimento do membro amputado conforme é demonstrado na [Figura 7](#). A fim de aumentar o realismo e o estímulo visual, o batimento cardíaco do paciente é adicionado a textura do membro virtual.

O trabalho de [Feintuch et al. \(2009\)](#) faz com que o paciente não veja apenas um membro virtual em movimento, mas o seu próprio corpo movimentando o membro afetado. Diferente de técnicas de imagens mentais, onde o paciente vê apenas o membro afetado em movimento. O primeiro passo do sistema é gravar um vídeo da mão saudável se movendo em várias direções. Esse vídeo é processado e, em seguida, projeta-se um membro virtual espelhado sobre o braço afetado. Com um *joystick* o paciente controla seu braço afetado para cumprir desafios em forma de jogo. O paciente deve controlar o *joystick* com o membro afetado. Entretanto, se isso não for possível em casos de limitações mais severas, o paciente deverá controlar com o braço saudável.

No projeto de [Rinderknecht et al. \(2013\)](#) foi combinada a técnica de realidade virtual com vibração de tendões provida de sensores, como ilustrado na [Figura 8](#). Esse método proporciona uma ilusão mais intensa para pacientes que sofreram AVC. Por meio de um dispositivo parecido com um mouse, o paciente apoia a mão afetada. O mecanismo conta com estímulos de vibração e de extensão dos dedos. Conforme os estímulos são aplicados na mão do paciente o monitor exibe uma mão virtual fazendo o mesmo exercício.

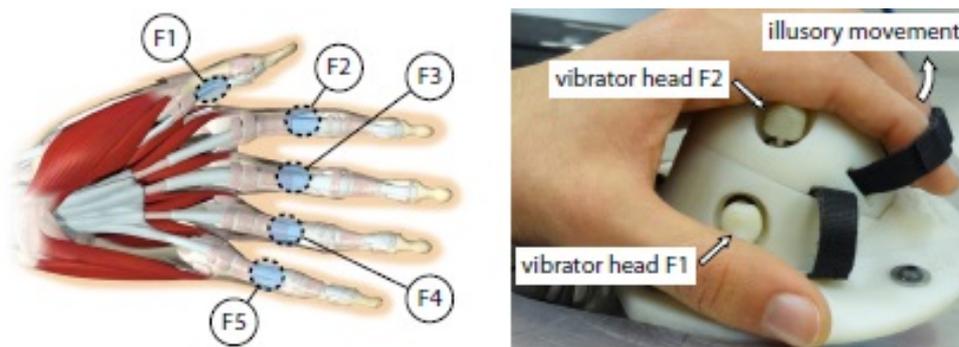


Figura 8 – Dispositivo com pontos de vibração e de movimento. Fonte: [Rinderknecht et al. \(2013\)](#).



Figura 9 – A mão afetada fica escondida atrás do monitor onde é mostrado o espelhamento do membro. Fonte: [Hoermann et al. \(2015\)](#).

3.3 Apoio com dispositivos externos

[Hoermann et al. \(2015\)](#) utilizam recursos de realidade aumentada com recursos de baixo custo para oferecer apoio à terapia do espelho para membros superiores. A tecnologia compreende um computador ligado a um monitor cujo tamanho cubra o membro afetado. Enquanto o paciente posiciona a mão sadia atrás do monitor, uma câmera grava a mão sadia e o software espelha a imagem no lado oposto do monitor, como ilustrado na [Figura 9](#). Portanto, quando o paciente mexe com a mão sadia ele tem a ilusão de que a mão afetada está se movendo. Uma das dificuldades encontradas é aumentar o espaço de interação atrás da tela. Além disso, outro problema é a falta de avaliação dos exercícios e o acompanhamento remoto dos pacientes.

Outro trabalho que utiliza câmera e monitor é o de [Lee, Li e Fan \(2015\)](#), como ilustrado na [Figura 10](#). A câmera fica em uma posição paralela ao monitor, a imagem do braço saudável é capturada e apresentada no monitor que fica acima do braço afetado, sendo que um pequeno atraso é inserido entre a captura da imagem e a exibição do membro virtual. O objetivo dessa pesquisa foi comparar o reflexo simétrico (igual do espelho convencional) com o reflexo assimétrico.

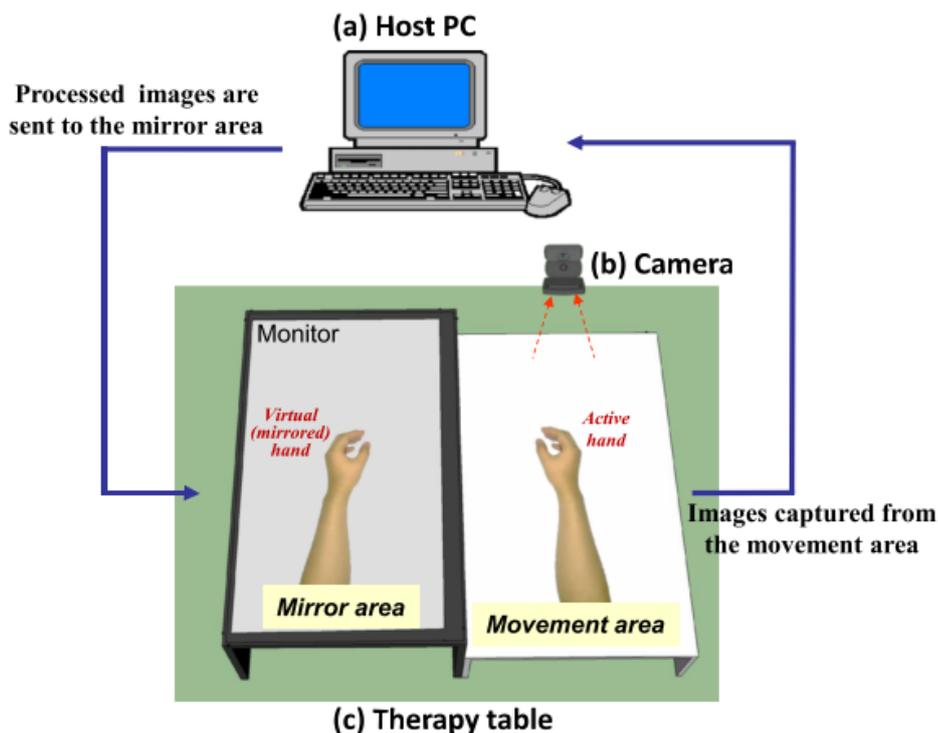


Figura 10 – *Delayed mirrors visual feedback*. O membro afetado é gravado por meio de uma câmera. A imagem é processada em um servidor e é exibida espelhada com atraso no monitor ao lado. Fonte: Lee, Li e Fan (2015).

Palmke *et al.* (2009) utilizaram a tecnologia do vídeo game *Nintendo Wii* para propor um sistema que captura o movimento do braço saudável por meio do *Wimote* e o espelha na tela. Essa ação simula dois braços em movimento sincronizados.

Alguns pesquisadores fazem uso de equipamentos mecânicos que estimulam o movimento. Um exemplo é o trabalho de Hallam (2015) ilustrado na Figura 11. O trabalho propõe o uso de uma luva que estimula os dedos de pacientes com mão afetada por hemiparesia causada por acidente vascular cerebral (AVC). O propósito da luva é proporcionar ao paciente a sensação do toque da mão saudável na mão afetada. O paciente, não apenas vê as duas mãos simetricamente, mas também sente o toque com as duas mãos ao mesmo tempo. Para isso o paciente faz uso de duas luvas. A luva que é responsável por calçar a mão saudável conta com sensores de pressão nos dedos, e a luva na mão afetada conta com motores. Ao ser detectado um toque com a luva dos sensores, um micro controlador é responsável por enviar um sinal para a outra luva fazendo com que o motor cause uma pressão no dedo da mão afetada. Um ponto forte deste trabalho é a facilidade de utilização, pois os pacientes podem fazer o uso doméstico das luvas sem a presença do terapeuta.

Pesquisadores também reportam esforços que fazem uso de tecnologias humano-robô, tais como exoesqueletos nos trabalhos de Bae, Kim e Moon (2012) e Wang e Fu (2011), e de ferramentas robóticas como nas contribuições de Narang *et al.* (2013), Wu *et al.* (2011). Todos esses equipamentos mecânicos foram utilizados como suporte para a terapia do espelho.



Figura 11 – Luvas com sensores e motores. Fonte: [Hallam \(2015\)](#).

3.4 Considerações finais

Os trabalhos reportados nesse capítulo permitiram identificar diferentes métodos e tecnologias desenvolvidos com a finalidade de dar suporte à terapia do espelho tradicional. Esses trabalhos foram fundamentais para identificar as principais limitações e o atual estado da arte na área de soluções computacionais para suporte a terapia do espelho. Dentro dessas limitações podemos destacar:

1. Tecnologias que utilizam aparelhos customizados, desenvolvidos e projetados exclusivamente para a terapia, o que torna necessário que o paciente faça a aquisição do mesmo.
2. Não possuem a garantia de que o paciente mantenha o foco visual no local correto. Desse modo, o terapeuta não consegue ter um feedback automático que informe que a terapia está sendo executada incorretamente.
3. Falta de acompanhamento remoto da execução dos exercícios por meio de gravação de vídeo.
4. Customização do plano de sessões da terapia, que possa ser administrado remotamente pelo terapeuta.

A fim de solucionar essas limitações o modelo que será apresentado nesta dissertação fará uso do próprio smartphone do paciente, evitando a aquisição de outro hardware. O modelo consiste em utilizar o smartphone com o Google Cardboard com a finalidade de criar um HMD que proporcione ao paciente o mesmo efeito de espelhamento gerado pelo espelho tradicional. O diferencial desse modelo é que o paciente será direcionado a olhar apenas para o reflexo do membro saudável. O terapeuta também poderá acompanhar remotamente as gravações das sessões realizadas por seus pacientes e visualizar relatórios automáticos que informam se o paciente realizou a terapia mantendo a área de foco no local correto.

A [Tabela 1](#) apresenta um comparativo entre as tecnologias utilizadas nos trabalhos relacionados encontrados na literatura e a solução ora proposta nesta dissertação.

No próximo capítulo são apresentados trabalhos anteriores do grupo no qual a pesquisa reportada nesta dissertação se insere.

Tabela 1 – Tabela comparativa de trabalhos relacionados.

| | Grünert- Plüss <i>et al.</i> (2008) | Oouchida e Izumi (2012) | Bach <i>et al.</i> (2010) | Trojan <i>et al.</i> (2014) | Kang <i>et al.</i> (2012) | Proposta |
|---|--|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------|
| Acompanhamento por uso de diário (papel) | X | | | | | |
| Acompanhamento remoto por gravação de vídeo | | | | | | X |
| Acompanhamento remoto do <i>feedback</i> do paciente | | | | X | | X |
| Espelhamento do membro saudável com Realidade Virtual | | | X | | X | |
| Espelhamento do membro saudável com Realidade Aumentada | | X | | X | | X |
| Interação com elementos virtuais gerados computacionalmente | | | X | X | X | |
| Uso de dispositivo móvel (<i>smartphone</i>) | | | | | | X |

TRABALHOS COMPLEMENTARES

[Correia \(2015\)](#) realizou um levantamento de requisitos com equipe multidisciplinar e propôs um modelo de acompanhamento remoto para o qual foram desenvolvidos protótipos que fazem uso de smartphones para registro e acompanhamento de pacientes que executam a Terapia do Espelho tradicional. Neste capítulo será apresentado o modelo MTEIR (Modelo para terapia do espelho interativa remota) proposto por [Correia \(2015\)](#), juntamente com os requisitos por ele levantados. Também serão apresentados os aplicativos Tei e TeiT, a fim de identificar seus recursos e atuais limitações.

Em desenvolvimento pelo grupo de pesquisa no qual o trabalho reportado nesta dissertação foi realizado, o Método de Amostragem de Experiências e Intervenção Programada, ESPIM (Experience Sampling and Programmed Intervention Method) como sumarizado por [Zaine et al. \(2016\)](#), pode ser utilizado como uma ferramenta ubíqua que apoie o Método de Amostragem de Experiências (ESM), possibilitando a criação e execução de experimentos ou intervenções conduzidos a distância. O ESPIM foi utilizado neste trabalho como ferramenta de suporte para o acompanhamento remoto das sessões de terapia do espelho com realidade aumentada, conforme detalhado no [Capítulo 5](#).

Inicialmente, o trabalho de [Correia \(2015\)](#), realizado para permitir o acompanhamento remoto para a terapia do espelho, é sumarizado na [Seção 4.1](#). A seguir, a proposta do ESPIM (Método para amostragem de experiências e intervenção programada) é apresentada na [Seção 4.2](#)

4.1 MTEIR: Modelo para terapia do espelho interativa remota

Com base no programa doméstico apresentado por [Grünert-Plüss et al. \(2008\)](#), requisitos levantados na literatura e acompanhamento de uma terapeuta especialista na área, o MTEIR proposto por [Correia \(2015\)](#) tem como objetivo permitir que o terapeuta acompanhe as sessões

domiciliares realizadas pelos pacientes. Dentre os principais requisitos levantados por Grünert-Plüss *et al.* (2008), podemos destacar:

1. O sistema deve permitir que o terapeuta administre um plano de sessões de Terapia do Espelho, que possa ser customizado para cada paciente.
2. O sistema deve gravar, em vídeo, as sessões de Terapia do Espelho executadas pelos pacientes, podendo ser visualizadas posteriormente pelo terapeuta.
3. Todo o acompanhamento e gestão das sessões de terapia do espelho devem ser administrados remotamente.
4. Proporcionar o mínimo de intervenção possível na sessão tradicional da terapia do espelho.

Como parte do MTEIR foram desenvolvidos os aplicativos Tei (Terapia do Espelho Interativa) e TeiT (Terapia do Espelho Interativa para Terapeutas), conforme documentado por Correia (2015). A seguir estão listadas as funcionalidades de cada aplicativo, apresentando seus respectivos métodos e soluções.

4.1.1 Tei

O Tei é um aplicativo para dispositivos móveis com sistema operacional Android. A fim de implementar os conceitos e requisitos levantados pelo MTEIR, esse aplicativo é voltado para o paciente, que deverá tê-lo instalado em seu dispositivo. O objetivo principal desse aplicativo é gravar as sessões da terapia do espelho executadas pelo paciente em seu domicílio. Outras funcionalidades também estão presentes, como: conversar com o terapeuta, guia de exercícios, exercícios de discriminação de lateralidade entre outros que serão melhor explicados abaixo. Os requisitos mínimos para que o paciente possa utilizar este aplicativo são: possuir um celular Android de versão igual ou superior a 4.2 e acesso à Internet.

- **Login:** O sistema possui uma tela inicial de *login*, que demanda acesso via informação do usuário e senha. Essas informações são solicitadas toda vez que o aplicativo for aberto, mesmo que seja o aparelho do próprio utilizador. Essa segurança foi estabelecida pois o sistema contém dados que dizem respeito a privacidade dos pacientes (gravações em vídeo).
- **Listar sessões:** Para realizar uma sessão monitorada, o paciente deve clicar no ícone “Realizar sessão” no menu. Uma lista de sessões pré-programadas pelo terapeuta será exibida. Nessa lista, cada sessão possui uma descrição com os tipos de exercícios a serem executados e a quantidade de repetições por exercício. A data e hora da execução da sessão também são mostradas, e o paciente pode optar por realizar a sessão ou postergá-la ao escolher uma nova data e hora.
- **Listar sessão:** Ao escolher uma sessão da lista e selecionar a opção de "Realizar", a tela de captura será aberta, nessa tela o paciente deverá posicionar seu dispositivo móvel em

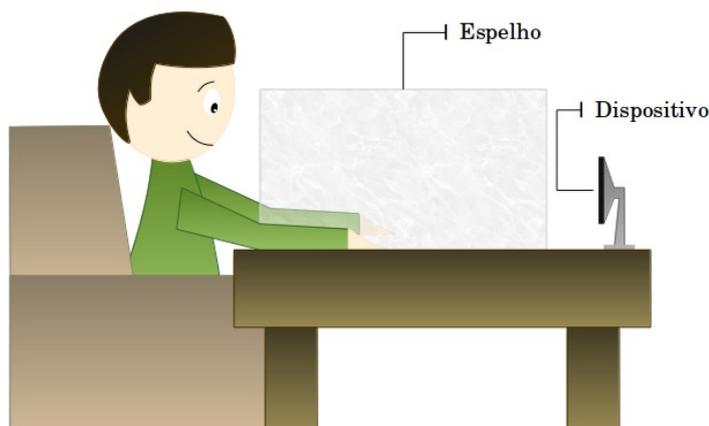


Figura 12 – Dispositivo posicionado a frente do espelho e do paciente. Fonte: [Correia \(2015\)](#)

um suporte de maneira que o mesmo fique à frente do espelho como indicado na [Figura 12](#). A tela do dispositivo deve ficar virada para o lado oposto do paciente, para que o mesmo não veja a gravação. Os dois membros do paciente devem ser enquadrados pela câmera traseira do dispositivo, e o espelho deve ser centralizado conforme a marcação exibida na tela, como apresentado na [Figura 13](#).

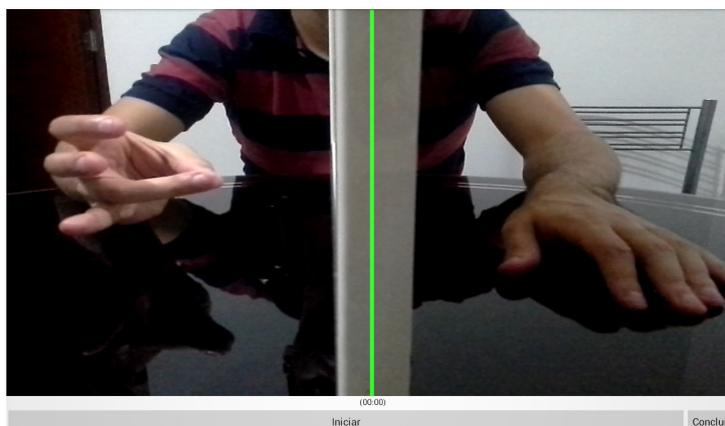


Figura 13 – Imagem capturada pelo dispositivo. A esquerda a mão direita do paciente (saudável) e a direita a mão esquerda do paciente (afetada). Fonte: [Correia \(2015\)](#)

- **Iniciar gravação:** Ao clicar em iniciar o dispositivo começará a gravar. Um cronometro será exibido com o tempo especificado pelo terapeuta. A gravação será concluída após o término do tempo ou finalização manual por parte do paciente. A sessão também pode ser cancelada, evitando assim que o vídeo seja transmitido para o terapeuta.
- **Conclusão da sessão:** Após a conclusão da sessão, o vídeo é enviado automaticamente para o servidor, a partir do qual poderá ser acessado pelo terapeuta. Uma observação importante é que o vídeo não fica armazenado no dispositivo, impossibilitando assim o acesso por parte do paciente. Para isso, o dispositivo móvel deve estar conectado à Internet quando iniciada uma sessão.

- **Rever sessões avaliadas:** Após o vídeo da terapia ser enviado ao servidor, o terapeuta poderá fazer comentários e anotações em uma sessão realizada pelo paciente. O terapeuta também poderá compartilhar esse vídeo com o paciente, optando por mostrar ou não mostrar o membro afetado. Na opção “Meus vídeos” no menu, o paciente poderá assistir e rever as observações feitas pelo terapeuta. Se o terapeuta optar que o paciente veja apenas o membro sadio, uma tela cinza será mostrada no lugar do membro afetado.
- **Guia de exercícios:** O guia de exercícios pode ser acessado em “Outras opções” no menu. O guia contém vídeos tutoriais dos exercícios a serem realizados nas sessões. Esses exercícios são fixos no sistema e não podem ser alterados, tendo função de informação de consulta para o paciente.
- **Teste de lateralidade:** Nesse módulo – que também se encontra no menu “Outras opções” – o paciente poderá fazer exercícios de discriminação de lateralidade, no qual imagens de membros sadios são mostradas em posições variadas. O paciente deve decidir se o membro mostrado é esquerdo ou direito. Doze imagens são mostradas, mudando a cada resposta. Ao final, o total de acertos é exibido na tela.
- **Mensagens:** Acessando a opção “Mensagem” no menu, o paciente pode trocar mensagens com o terapeuta em um formato similar a e-mail. O módulo possui uma caixa de entrada e outra para mensagens enviadas, e a função de escrever nova mensagem.
- **Alterar senha e Sair:** Por fim, o menu conta com uma área para redefinição da senha e um botão para sair do sistema.

Mais informações sobre o módulo Tei estão disponíveis na dissertação de mestrado de [Correia \(2015\)](#)

4.1.2 TeiT

Diferentemente do Tei, o TeiT é de uso do terapeuta. As funções aqui são voltadas para que o terapeuta possa acompanhar as sessões gravadas por seus pacientes. São adotados os mesmos requisitos mínimos: possuir um celular Android de versão igual ou superior a 4.2 e acesso à Internet.

- **Administrar pacientes:** Por meio do ícone “Pacientes” no menu principal do aplicativo TeiT, o terapeuta pode cadastrar um novo paciente, a partir do que o mesmo passa a ter acesso ao aplicativo Tei. O objetivo principal desse módulo é organizar as informações e os dados relevantes dos pacientes. Uma informação muito importante a ser especificada é o lado do membro afetado, pois só assim a ferramenta Tei poderá distinguir qual dos lados não deverá ser mostrado para o paciente ao acessar o módulo de “Rever sessões avaliadas”.

- **Inserir nova sessão:** Este módulo é designado à criação das sessões por parte do terapeuta. É importante ressaltar que cada sessão é criada para um paciente em específico de acordo com suas necessidades. O terapeuta pode selecionar os exercícios e a frequência desses exercícios, assim como a data e o horário em que a sessão deve ocorrer.
- **Avaliar sessão:** Após o vídeo gravado pelo paciente ser enviado para o servidor, o terapeuta poderá assisti-lo e fazer anotações relevantes. Este módulo foi integrado com a ferramenta MoViA (CUNHA; NETO; PIMENTEL, 2013), aplicativo para dispositivos móveis Android que possibilita anotações em vídeo. Essas anotações têm como objetivo proporcionar um *feedback* para o paciente no aplicativo Tei no caso, por exemplo, de um exercício estar sendo executado de forma errônea.
- **Mensagens:** Semelhante ao modelo de mensagens definida no Tei apresentado na seção anterior. Entretanto, neste módulo o terapeuta tem uma lista de pacientes para escolher com qual trocar mensagens.

Mais informações sobre o módulo TeiT estão disponíveis na dissertação de mestrado de [Correia \(2015\)](#)

4.1.3 Limitações

Embora o modelo MTEIR tenha apresentado proposta inovadora de contribuição para o acompanhamento remoto de pacientes da terapia do espelho, [Correia \(2015\)](#) identificou como principais limitações dois aspectos:

- **Necessidade de conexão com a Internet em todo período de utilização:** Os aplicativos Tei e TeiT possuem a necessidade de estarem conectados na Internet para realizar suas funções. O envio do vídeo logo após a sessão, quando no caso de uma conexão lenta, pode se tornar um problema. A falta de conexão com a Internet pode também influenciar o paciente em não cumprir com o cronograma das sessões. Uma ressalva a ser feita é que este método foi adotado porque o paciente não pode ver o vídeo original. Por isso a gravação não fica armazenada no dispositivo.
- **Feedback da expressão do paciente:** O sistema não captura a expressão facial do paciente, impossibilitando que o terapeuta verifique se o foco do paciente está realmente no membro refletido.

Há também limitações levantadas pelo proponente do atual projeto de pesquisa. Tais limitações foram identificadas a partir de reuniões presenciais com membros do grupo de pesquisa e por especialistas.

- *Feedback* do paciente: O sistema não possui nenhum tipo de questionário pré ou pós terapia para avaliar a experiência e sensações que o paciente sentiu durante a sessão. Esses dados podem ajudar o terapeuta a analisar a evolução do paciente, servindo de apoio para planejar as próximas sessões.
- *Feedback* do sistema: O sistema não possui um tipo de alerta para avisar o paciente que a sessão acabou.
- Criar sessões: Como a terapia do espelho deve ser repetida várias vezes ao dia durante um determinado período, o terapeuta teria que cadastrar centenas de sessões por paciente, tornando este processo inviável.
- Falta de alertas: O sistema não possui alertas, possibilitando assim que o paciente esqueça de realizar uma sessão, ou até mesmo esqueça de conferir a agenda diária.

O modelo MTEIR, em conjunto com os aplicativos Tei e TeiT, foram de suma importância para o levantamento dos requisitos iniciais e compreensão do funcionamento do protótipo. As várias limitações identificadas permitiram investigar novas soluções, investigação essa que foi o foco do trabalho reportado nesta dissertação.

4.2 ESPIM: Método para amostragem de experiências e intervenção programada

O Método de Amostragem de Experiências e Intervenção Programada, ESPIM (Experience Sampling and Programmed Intervention Method) como sumarizado por [Zaine et al. \(2016\)](#), pode ser utilizado como uma ferramenta ubíqua que explora ao mesmo tempo o Método de Amostragem de Experiências (ESM) e a metodologia de criação e de execução de experimentos ou intervenções, os quais podem, assim, ser conduzidos a distância (remotamente). As intervenções podem ser programadas com base em dados coletados de maneira explícita ou pervasiva.

O método é apoiado por um sistema computacional desenvolvido para as plataformas *web* e *mobile*. O sistema *web* é utilizado diretamente no navegador e é destinado aos pesquisadores, que criam e programam as intervenções. Já a versão *mobile* pode ser descrita como um aplicativo Android, destinada aos indivíduos que executarão essas intervenções.

O ESPIM foi utilizado neste trabalho como ferramenta de suporte para o acompanhamento remoto das sessões de terapia do espelho com realidade aumentada, conforme detalhado no [Capítulo 5](#). O objetivo deste capítulo é dar uma visão geral do sistema computacional ESPIM e mostrar como um terapeuta pode utiliza-lo para criar um acompanhamento remoto da Terapia do Espelho.

É importante observar que, como parte da pesquisa de mestrado reportada nesta dissertação, o autor colaborou com o grupo de pesquisa no projeto e na implementação da plataforma

ESPIM web apresentada na [Subseção 4.2.1](#). Em particular, foram investigadas pelo mestrando alternativas para a interface de autoria dos programas e das intervenções. O mestrando também foi responsável pela implementação da interface da primeira versão da ferramenta, interface essa que tem sido iterativamente desenvolvida por outros membros do grupo.

4.2.1 Criação de programa de acompanhamento no ESPIM web

Para iniciar um programa de intervenções deve ser utilizado o ESPIM *web*. O pesquisador deve fazer o cadastro (primeiro acesso) ou *login* utilizando sua conta Google. Uma vez realizado o login, o terapeuta tem acesso às funções para criar programas de intervenção. O ESPIM *web* é responsável por organizar todo tratamento por acompanhamento remoto de um paciente específico, ou para um grupo de pacientes que receberão o mesmo tratamento. O terapeuta então deve definir um nome para esse programa e uma data de início e fim.

- **Seleção de pacientes:** Nesta etapa o terapeuta pode adicionar ou selecionar um ou mais pacientes. O paciente é adicionado através do *e-mail* de sua conta Google (de preferência a mesma utilizada em seu *smartphone*). Vale lembrar que se mais de um paciente for selecionado, isso implica que todos receberão tratamento iguais e durante o mesmo período de tempo.
- **Seleção de observadores:** Por padrão, o criador do programa é um observador. Somente o criador do programa pode interagir com as configurações do mesmo, porém outros pesquisadores podem ser cadastrados como observadores a fim de acompanharem o tratamento dos pacientes do programa, podendo visualizar dados e relatórios obtidos no experimento.
- **Criar um evento:** Um evento, para o contexto deste trabalho, pode ser definido como um acompanhamento remoto da Terapia do Espelho. Nesta tela, o terapeuta pode definir uma lista de intervenções, como por exemplo: exibir uma mensagem, fazer uma pergunta para o paciente, mostrar uma imagem ou vídeo, criar um questionário de múltipla escolha e até mesmo selecionar uma aplicação externa (será detalhada no decorrer deste capítulo). Essas intervenções podem ser ordenadas de acordo com as necessidades do pesquisador ([Figura 14](#)).

Por fim, esse evento pode ser agendado para que seja disparado em uma determinada hora do dia, em diversos dias da semana. Um programa pode conter um ou mais eventos, que por sua vez podem conter um ou mais disparos.

Um exemplo de evento é ilustrado pelo seguinte cenário:

Dentro de um programa existem 3 pacientes cadastrados. O terapeuta gostaria de criar um acompanhamento para perguntar se o paciente está sentindo dor em uma

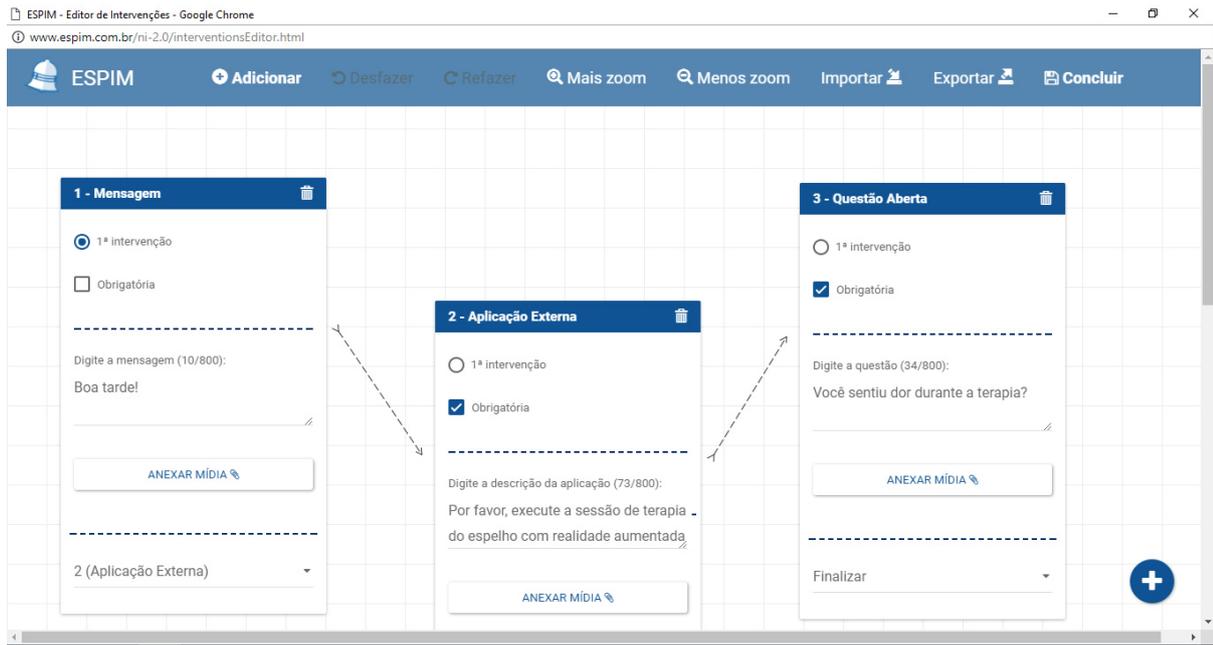


Figura 14 – Criação de um evento com três intervenções: Uma mensagem, uma aplicação externa e uma questão aberta.

hora específica do dia. O terapeuta cria então um evento com 2 intervenções sendo a primeira uma questão de múltipla escolha e a segunda uma questão aberta. A primeira é definida com a pergunta "Você está sentindo dor nesse exato momento?". O terapeuta configura 2 possíveis respostas para essa pergunta, sim e não. Na segunda pergunta o terapeuta pergunta "Em quais atividades de sua rotina você sente mais dor?". Nesta segunda pergunta o paciente pode escrever livremente sua resposta. Após configurado esse evento o terapeuta seleciona que gostaria que o mesmo fosse disparado de segunda a sexta-feira, sempre às 19h.

4.2.2 ESPIM mobile

Por sua vez, o ESPIM *mobile* é a aplicação que deve estar instalada no *smartphone* dos pacientes. Essa aplicação faz a comunicação com o servidor do ESPIM *web*, recebendo os agendamentos das intervenções e enviando os resultados obtidos. Para utilizar essa aplicação o usuário deve efetuar o *login* utilizando sua conta Google (mesmo *e-mail* que foi cadastrado pelo terapeuta quando criado o programa no ESPIM *web*).

O aplicativo fica encarregado de disparar um acompanhamento que foi pré-configurado pelo terapeuta. Uma notificação é enviada ao dispositivo do paciente alertando que comece o acompanhamento de acordo com a data e hora estabelecida previamente pelo terapeuta. O paciente deve então realizar a lista de intervenções que foram cadastradas no evento criado pelo terapeuta.

4.2.3 Configuração de uma aplicação externa

A opção de aplicação externa funciona como um disparo de um outro aplicativo ativado pelo ESPIM *mobile*: essa opção foi desenhada para permitir que pacientes realizem tarefa específicas realizadas por aplicativos projetados especificamente para esse fim. Por exemplo, um terapeuta pode configurar que o ESPIM *mobile* abra um aplicativo de jogo e solicite ao paciente utilizar o jogo por 15 minutos.

Uma funcionalidade interessante dessa configuração é que o terapeuta pode selecionar parâmetros e setar valores. Quando o ESPIM *mobile* abrir o aplicativo externo, esses parâmetros são enviados durante a chamada e de modo transparente para o paciente. Naturalmente, o aplicativo a ser aberto pelo ESPIM *mobile* deve prever o envio desses parâmetros, que podem ser específicos para cada aplicação.

Quando o paciente terminar de executar a tarefa da aplicação externa, uma URL (*Uniform Resource Locator*) pode ser enviada ao ESPIM *mobile*. Essa URL corresponde ao endereço de uma página *web* que contém os resultados gerados pela aplicação externa, decorrentes da execução da tarefa. A aplicação externa é responsável por fazer o *upload* desses resultados, gerar a URL e enviá-la ao ESPIM *mobile*.

É importante observar que aplicações externas são instaladas quando de sua primeira ativação pelo ESPIM *mobile*, a menos que esteja pré-instalada no dispositivo.

4.2.4 Coleta de dados e resultados

Por fim, após o paciente realizar um acompanhamento, os dados são armazenados pelo ESPIM *mobile* e enviados para o servidor do ESPIM *web*. Esses dados podem ser visualizados pelo terapeuta em formato de relatório, exibindo as respostas obtidas pelo usuário assim como a URL que contém os resultados obtidos pela aplicação externa.

4.3 Considerações finais

Este capítulo teve como finalidade sumarizar trabalhos do grupo relativos aos métodos MTEIR e ESPIM, utilizados no desenvolvimento do trabalho pelo mestrando.

- No primeiro caso, a pesquisa realizada do mestrando se deu como uma evolução da contribuição apresentada por [Correia \(2015\)](#).
- No segundo caso, o mestrando colaborou com o grupo de pesquisa no desenvolvimento do projeto e na implementação da plataforma ESPIM *web* apresentada na [Subseção 4.2.1](#).

O próximo capítulo detalha a principal contribuição do trabalho de mestrado reportado nesta dissertação.

TERAPIA DO ESPELHO COM REALIDADE AUMENTADA E ACOMPANHAMENTO REMOTO

O trabalho reportado nesta dissertação teve como objetivo propor um modelo de acompanhamento remoto para terapia do espelho utilizando realidade aumentada. Um dos desafios a ser tratado pelo modelo era garantir que o campo visual do paciente permanecesse focado no reflexo do membro saudável durante a sessão de terapia (como recomendado pelos protocolos de Terapia do Espelho) e que o terapeuta fosse informado caso isso não ocorresse. Outro desafio era utilizar o mínimo possível de aparelhos e hardware que não façam parte do cotidiano do paciente, facilitando a adoção.

Este capítulo apresenta os principais aspectos do projeto, do desenvolvimento e da avaliação do MTEIR-RA, Modelo para Terapia do Espelho Interativa Remota com Realidade Aumentada, bem como da solução computacional associada.

5.1 Modelo para terapia do espelho interativa remota com realidade aumentada (MTEIR-RA)

No contexto da Terapia do Espelho, a contribuição de [Correia \(2015\)](#) teve como objetivo oferecer uma alternativa para o problema alertado por [Darnall e Li \(2012\)](#): a dificuldade de acompanhamento, por parte do terapeuta, do paciente que realiza sessões de terapia remotamente — como por exemplo, em sua residência.

No [Capítulo 3](#) foram apresentados trabalhos reportados na literatura que propõem modelos de terapia do espelho com realidade aumentada. Esses trabalhos, fizeram uso de *head-mounted-display*, sensores, telas, monitores e *joysticks* para que fosse possível realizar a terapia

do espelho com realidade aumentada. Porém, os modelos apresentados pela literatura, utilizam equipamentos e *hardware* específicos, significando a adição de mais um aparelho ao dia a dia do usuário. Muitos desses equipamentos podem ser inacessíveis economicamente para a maioria dos pacientes, dificultando assim a disseminação do ferramental. Também considerando cenários em que o paciente realiza sessões de terapia remotamente, o presente trabalho teve como objetivo investigar soluções alternativas para o problema de garantir que, durante uma sessão, o campo visual do paciente esteja focado no exercício sendo realizado — necessidade destacada no protocolo de Terapia do Espelho, apresentado por Grünert-Plüss *et al.* (2008).

A fim de solucionar esses problemas, o MTEIR-RA (Modelo para Terapia do Espelho Interativa Remota com Realidade Aumentada) foi criado com o intuito de possibilitar que as sessões de terapia do espelho com realidade aumentada pudessem ser executadas a partir de um *smartphone* com sistema Android. Este modelo também é responsável por fazer a integração com o ESPIM (apresentado no Seção 4.2), no qual o terapeuta poderá criar, gerenciar, agendar e visualizar os resultados das sessões de terapia do espelho que serão executadas remotamente pelo paciente.

Com base no protocolo de Grünert-Plüss *et al.* (2008), nos requisitos obtidos no trabalho de Correia (2015) e por meio de entrevistas periódicas com uma docente na área de terapia ocupacional, especialista em Terapia do Espelho, juntamente com sua equipe da Universidade de São Paulo, Campus Ribeirão Preto., pudemos identificar suas necessidades e de seus pacientes. Nas primeiras entrevistas foi apresentado a proposta da terapia com realidade aumentada. A medida que a implementação da ferramenta foi sendo desenvolvida, a nova versão era apresentada aos terapeutas e novas necessidades surgiam. Dentre as principais necessidades relatadas pelos terapeutas, podemos destacar:

- Durante uma sessão de Terapia do Espelho, o paciente deve manter sua atenção apenas na ilusão do membro saudável, não podendo visualizar nem seu membro saudável (real) e nem o membro afetado (que deve permanecer escondido).
- Em todo o período que o paciente estiver utilizando o *smartphone* dentro do óculos de realidade aumentada, e o mesmo estiver colocado no paciente, toda a interação com o sistema deverá ser apoiada por meio de comandos de voz.
- O vídeo da sessão deverá ser armazenado no *smartphone* sem que o paciente possa visualizá-lo, pois caso o paciente visualize a gravação e veja o comportamento do membro afetado, a eficácia da terapia pode ser prejudicada. Para isso, a mídia deverá ser salva em um local de difícil acesso e sem ser visível a partir da biblioteca de mídias do dispositivo.
- A conexão com a Internet não deverá ser obrigatória para a realização de uma sessão. As informações salvas serão armazenadas e enviadas assim que o *smartphone* conecte a Internet.
- Ao final de cada sessão algumas perguntas podem ser feitas ao paciente, como qual o nível de dor sentido naquela sessão. Ao permitir que o terapeuta planeje as intervenções por

meio do ESPIM, conforme detalhado na [Seção 4.2](#), é possível consultar o paciente antes e depois da sessão, evitando assim que o mesmo tenha que lembrar após um longo período, por exemplo, quando o paciente relata sua experiência ao terapeuta em uma consulta.

- O terapeuta deve ter alternativas para cadastrar um conjunto de sessões de modo simples, tanto em relação a um conjunto de pacientes como em relação aos os dias da semana e os períodos em que o paciente deverá cumpri-las.
- Assim que a sessão da terapia do espelho for inicializada, o sistema deverá interferir o mínimo possível.

Os aspectos discutidos acima foram essenciais para o desenvolvimento do modelo proposto e serviram como base para a elaboração do método utilizado para gerar o ambiente de realidade aumentada apresentado a seguir. A hipótese a ser validada é que o modelo proposto deveria proporcionar a terapia do espelho com realidade aumentada possibilitando que o terapeuta seja capaz de identificar de maneira automática se o paciente está mantendo o foco na área correta durante a execução dos exercícios. Outro ponto importante a ser destacado é que a ferramenta computacional gerada a partir desse modelo, possa ser implementada em smartphones Android, com a adição apenas do Google Cardboard.

5.1.1 Reflexão virtual do membro saudável com o uso de óculos de realidade aumentada (Google Cardboard)

Com os conhecimentos adquiridos nos trabalhos citados no [Capítulo 3](#), a reflexão do membro saudável tem como objetivo proporcionar para o paciente o efeito do espelhamento do membro, assim como acontece com o uso do espelho tradicional. Uma das limitações encontradas nos trabalhos reportados naquele capítulo foi o uso de aparelhos sofisticados, que ao mesmo tempo são custosos e complicados de utilizar. A fim de solucionar esse problema, optamos por usar o Google *Cardboard* e desenvolver um aplicativo de realidade aumentada. Dando continuidade ao trabalho proposto por [Correia \(2015\)](#), o aplicativo para Android, que será descrito ao longo deste trabalho, será nomeado TEI (terapia do espelho interativa) combinado com RA (realidade aumentada), totalizando a abreviação TEIRA (terapia do espelho interativa com realidade aumentada). A aplicação será responsável por capturar a imagem do braço saudável e refleti-la no lado oposto da tela de modo que o membro espelhado se movimente de maneira síncrona com o membro saudável. Além disso, a aplicação foi integrada a uma infraestrutura de configuração de sessões e de acompanhamento remoto, ESPIM, seguindo assim o modelo inicialmente proposto por [Correia \(2015\)](#). Deste modo, o terapeuta poderá ter controle sobre o cronograma de exercícios executados pelo paciente no decorrer das sessões da terapia.

O método consiste em capturar a imagem com a câmera traseira do *Cardboard* e dividi-la em duas partes de tamanhos iguais, a parte esquerda e a direita. O lado da imagem com o membro sadio do paciente deverá ser espelhado para o outro lado, sobrepondo o lado da imagem

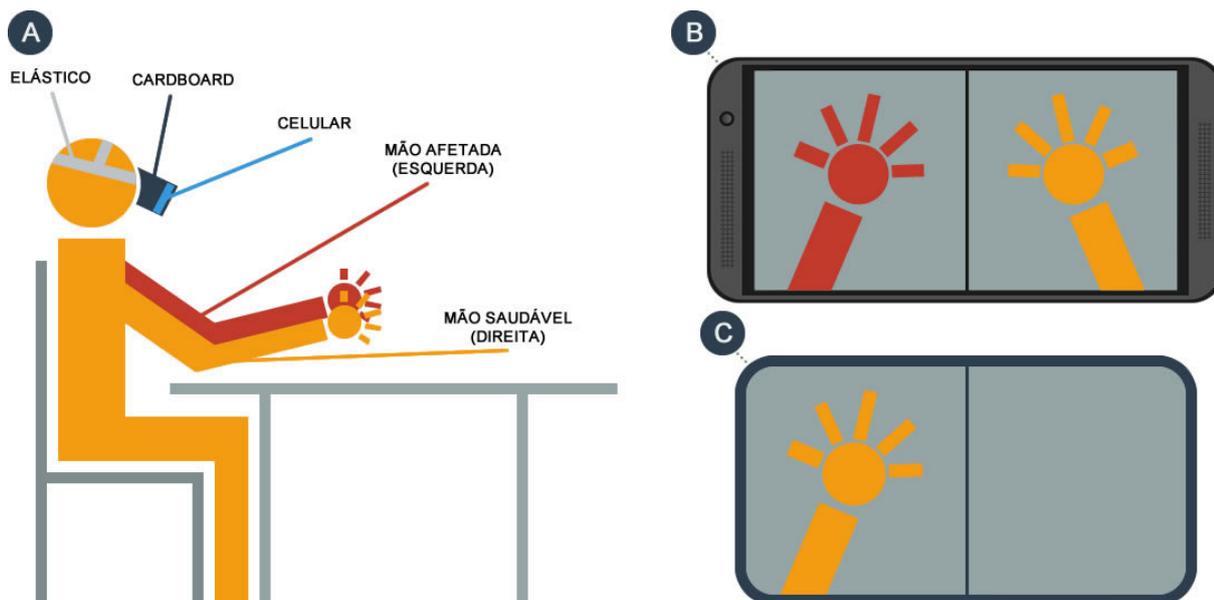


Figura 15 – Paciente sentado na mesa com o *Cardboard* preso na cabeça. O paciente deve olhar para os dois membros a fim de que os mesmos fiquem enquadrados na tela. Ao começar a terapia o membro sadio será ocultado e o reflexo do mesmo será posicionado por cima do membro afetado. Deste modo o paciente só conseguirá ver o reflexo do membro saudável sobreposto ao membro afetado. A letra "A" representa o posicionamento do equipamento, "B" representa a imagem que será capturada pela câmera e "C" representa o que o paciente visualizará.

com o membro afetado. Já o lado em que o membro saudável é exibido deverá ser removido, propiciando para o paciente apenas a imagem do reflexo do membro saudável. Exibindo esse efeito de espelhamento em tempo real junto a utilização do Google *Cardboard*, é possível criar a ilusão do paciente estar vendo o seu membro afetado se movendo de maneira síncrona com seu membro saudável real, em um ambiente imersivo em primeira pessoa. O processo completo, ilustrado na Figura 15, é detalhado a seguir.

- A Preparação do dispositivo e posicionamento:** O paciente, sentado em uma cadeira, apoia os braços em uma mesa como se fosse fazer a terapia do espelho tradicional (com o espelho). Com o aplicativo TEIRA aberto no módulo de realidade aumentada, o dispositivo móvel deverá ser inserido no *cardboard*. O *cardboard* deverá ser fixado na cabeça do paciente utilizando um elástico. É importante que as lentes do *cardboard* estejam ajustadas e que o paciente se sinta confortável.
- B Enquadramento:** A câmera do celular ficará responsável por gravar a imagem real (mão afetada e a saudável). No início o paciente deverá ver os dois membros na tela, a fim de centralizar e enquadrar os mesmos. Concluída essa etapa, o paciente deverá iniciar a sessão por meio do comando de voz "iniciar". É importante que o paciente execute o comando por voz, pois ele não terá como tocar na tela do smartphone.
- C Início da sessão:** A sessão tem início. O membro saudável do paciente será imediatamente refletido no lado oposto, sobrepondo o membro afetado, e a visualização do membro

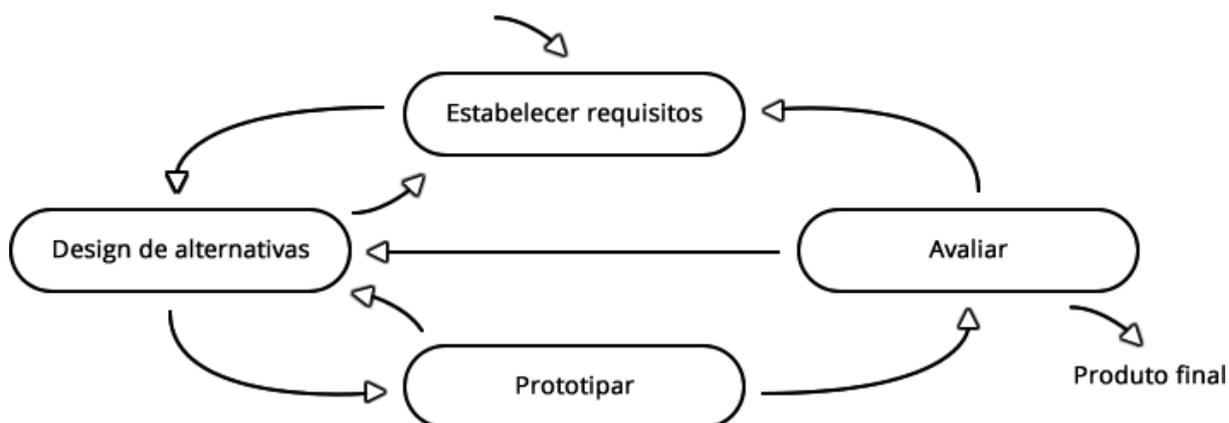


Figura 16 – Modelo simples de ciclo de vida de design de interação. Fonte: Rogers, Sharp e Preece (2013).

saudável (real) será interrompida. Ao longo da sessão, o dispositivo estará gravando o vídeo real (capturando o membro afetado e o membro saudável, sem o espelhamento), que poderá ser visualizado futuramente pelo terapeuta. Ao terminar o tempo, a câmera será interrompida e uma mensagem aparecerá na tela informando o paciente que a sessão acabou.

Segundo Krevelen e Poelman (2010), realidade aumentada é a combinação de elementos reais e virtuais em um ambiente real. Esse ambiente deve ser interativo, tridimensional e gerado em tempo real. Krevelen e Poelman (2010) consideram os elementos virtuais como objetos gerados computacionalmente que sobrepõem e complementam o mundo real. Com base na experiência desses autores, consideramos o atual trabalho como realidade aumentada, pois uma imagem virtual é gerada computacionalmente por meio da inversão da matriz de pixels da imagem real, propiciando assim um ambiente real e virtual ao mesmo tempo.

5.2 Design centrado no usuário

5.2.1 Modelo simples de ciclo de vida de design de interação

O Modelo simples de ciclo de vida de design de interação, conforme sumarizado por Rogers, Sharp e Preece (2013), foi utilizado como base para a criação do sistema interativo TEIRA. Esse modelo tem como objetivo, além de ser simples e abstrato, produzir um produto com design centrado no usuário. Esse modelo incorpora quatro atividades do design de interação, sendo elas: estabelecer requisitos, design de alternativas, prototipar e avaliar. Por se tratar de um ciclo, as atividades podem ser executadas várias vezes, até chegar no produto final, como mostrado na Figura 16.

5.2.2 Levantamentos de requisitos

Com base nas necessidades apresentadas anteriormente pudemos levantar os requisitos que foram fundamentais para o desenvolvimento do sistema TEIRA. Com a compreensão desses requisitos, pudemos partir para a etapa de prototipação e implementação do aplicativo. Os principais requisitos coletados são:

1. O terapeuta deverá fazer login no sistema para conseguir realizar o cadastro de pacientes, agendamento de sessões e visualização dos resultados.
2. O terapeuta deverá conseguir cadastrar um novo paciente no sistema. Após o cadastro desse paciente, o terapeuta poderá criar um acompanhamento que pode conter perguntas abertas ou de múltipla escolha e também poderá configurar a sessão de terapia do espelho.
3. Os terapeutas apresentaram a necessidade de comparar o acompanhamento remoto da sessão tradicional com espelho (como proposto por [Correia \(2015\)](#)) com o acompanhamento remoto com realidade aumentada, portanto o terapeuta poderá escolher qual método será aplicado para cada paciente e em qual período do tratamento.
4. O sistema deverá permitir que o terapeuta possa escolher se o paciente deverá ou não realizar o teste de lateralidade antes de executar a sessão de terapia.
5. O paciente deverá poder fazer login para ser capaz de realizar as sessões da terapia que serão agendadas pelo terapeuta.
6. O paciente poderá fazer uma sessão de terapia do espelho com realidade aumentada sem agendamento, apenas para fins de aprendizado. Essa funcionalidade foi pensada de modo que o terapeuta possa ensinar o paciente de como realizar a sessão utilizando o óculos de realidade aumentada e instruí-lo de como se posicionar. Nesta função nenhum dado é coletado e nenhum vídeo é gravado.
7. Quando o paciente executar uma sessão agendada pelo terapeuta, independente se a sessão for com espelho ou com realidade aumentada, o sistema deverá gravar um vídeo de todo o tempo de sessão.
8. O terapeuta deverá poder configurar um tempo máximo para a sessão agendada. Porém o paciente não precisa necessariamente cumpri-lo totalmente.
9. Ao utilizar a funcionalidade de terapia com realidade aumentada, o paciente poderá interagir com o sistema por comando de voz, pois o *smartphone* estará dentro do óculos de realidade aumentada.
10. O sistema deverá permitir que o paciente consulte uma lista de exercícios e possa visualizar um vídeo com a execução desses exercícios com o intuito de tirar dúvidas.

11. Os vídeos das sessões dos pacientes serão gravados no *smartphone* em uma área de difícil acesso (que não apareça na biblioteca de mídias padrão). Assim que o *smartphone* conseguir conexão com a Internet por meio de uma rede *Wireless*, o vídeo será transferido para um servidor e após a conclusão o vídeo será apagado do *smartphone* do paciente.
12. Durante a realização de uma sessão, nenhuma outra aplicação poderá interromper o funcionamento do aplicativo.
13. Durante a realização de uma sessão de terapia com realidade aumentada, o paciente poderá pausar, retomar e finalizar (mesmo que o tempo estipulado pelo terapeuta não seja atingido).
14. Quando a sessão de terapia do espelho com realidade aumentada for inicializada, o sistema deverá detectar a posição inicial do *smartphone*, que será a área em que seus braços estão posicionados. Caso o paciente mova a cabeça de maneira que a câmera saia dessa área pré definida, uma mensagem será exibida informando para o paciente que volte para a posição inicial. Um valor em graus será estipulado para delimitar quanto movimento o aplicativo deve tolerar. Esses momentos de saída da área de foco deverão ser relatados ao terapeuta.
15. O sistema deve poder ser configurado e utilizado com apenas uma mão.

5.2.3 Modelagem do sistema

Um diagrama de casos de uso (DCU) representa uma visão de alto nível de um sistema, no qual podemos ilustrar a interação de elementos externos com as funcionalidades do sistema, como resumido por [Bezerra \(2017\)](#).

No contexto do MTEIR-RA, a [Figura 17](#) apresenta o diagrama de casos de uso que contextualiza a interação entre: os atores, sistemas e suas funcionalidades. As funcionalidades do sistema estão associadas a um ou mais requisitos levantados anteriormente.

Podemos definir os Terapeutas e Pacientes como atores do sistema no qual cada um deles desempenha um papel diferente. O terapeuta interage apenas com o sistema ESPIM *web* enquanto o paciente interage com os sistemas ESPIM *mobile* e TEIRA.

O terapeuta pode criar e configurar um acompanhamento remoto. Um acompanhamento remoto consiste em uma sessão de terapia do espelho que pode ser: tradicional com captura de vídeo (baseado na captura de vídeo do TEI como no trabalho de [Correia \(2015\)](#)) ou com realidade aumentada. O terapeuta pode também escolher se quer que o paciente execute um teste de lateralidade antes da sessão de terapia do espelho, assim como também pode configurar perguntas abertas ou de múltipla escolha, antes e/ou depois da sessão da terapia. Um ou mais pacientes podem ser adicionados a esse acompanhamento. Também é possível configurar a data, hora e periodicidade em que o acompanhamento será disparado para o paciente. Por fim

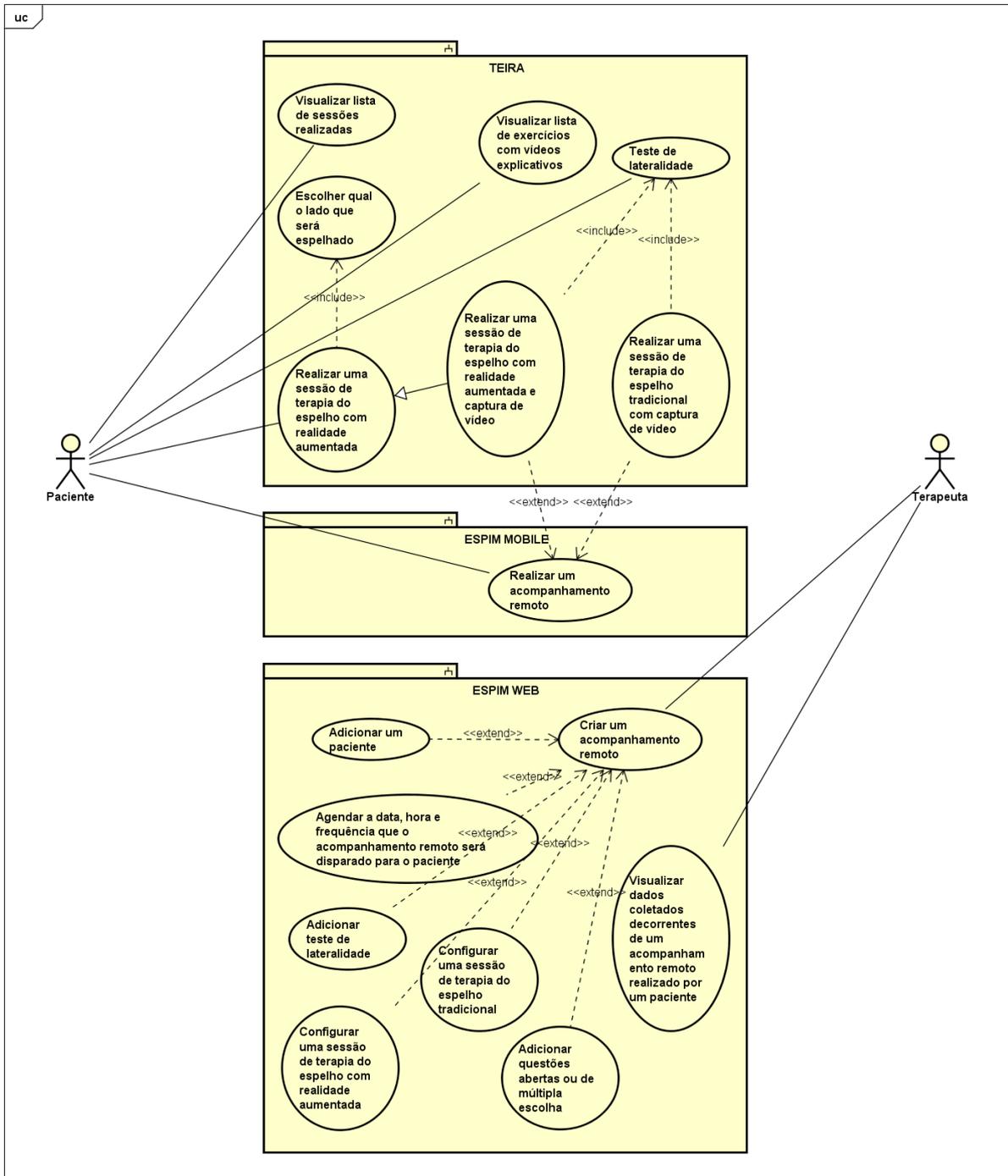


Figura 17 – Diagrama de caso de uso do sistema TEIRA integrado ao ESPIM.

o terapeuta pode visualizar os dados coletados decorrentes do acompanhamento assim como o vídeo capturado durante a sessão da terapia.

O paciente pode interagir diretamente ou indiretamente com o TEIRA. Abrindo o aplicativo TEIRA diretamente, o paciente pode visualizar alguns exercícios disponíveis para consulta, efetuar um teste de lateralidade, verificar as sessões já realizadas e realizar uma sessão de terapia do espelho com realidade aumentada. Caso o paciente escolha fazer uma sessão de terapia do espelho com realidade aumentada diretamente pelo TEIRA, ele deverá escolher o lado que será espelhado (lado do membro saudável). Nesse modelo de sessão, nada é gravado e nenhum dado é enviado ao terapeuta, servindo como método para utilização em consulta presencial ou em casos do paciente querer realizar em casa sem acompanhamento remoto.

O paciente pode também interagir com o TEIRA indiretamente, realizando uma sessão de terapia do espelho proveniente do disparo de um acompanhamento remoto do ESPIM *mobile*. Neste caso o paciente pode realizar um teste de lateralidade (caso selecionado pelo terapeuta) e uma sessão de terapia do espelho, que pode ser tradicional ou com realidade aumentada. Por meio do ESPIM *mobile* o paciente pode também responder algumas perguntas do terapeuta, antes ou depois da sessão de terapia do espelho.

Para que haja comunicação entre os dois sistemas, é necessário que dados sejam trocados entre os mesmos. A [Figura 18](#) representa a comunicação e o fluxo de informações entre os sistemas ESPIM *web*, ESPIM *mobile* e TEIRA. O número 1 e 2 representam as informações de configuração do acompanhamento, contendo os dados referentes a configuração do TEIRA e configuração do acompanhamento. Esses dados são armazenados no servidor ESPIM e enviados ao ESPIM *mobile* (3 e 4). Ao ser disparado um acompanhamento remoto, o ESPIM *mobile* abre o aplicativo TEIRA passando os dados da sessão configurados pelo terapeuta (5). Ao concluir a sessão, o TEIRA gera uma URL única que é retornada para o ESPIM *mobile* (6), essa URL será utilizada para acessar o vídeo e os resultados obtidos pelo TEIRA. O ESPIM *mobile* armazena os dados coletados e a página de resultado do TEIRA (7 e 8). Por fim esses dados são apresentados para o terapeuta (9 e 10). Além de acessar os dados coletados pelo ESPIM *mobile* (9), o terapeuta pode acessar a página de resultados do TEIRA que contém o vídeo e dados da sessão da terapia do espelho (13 e 14), que devem ter sido previamente transferidos para o servidor do TEIRA (11 e 12). O fluxo de dados representado pelas setas azuis (tracejado) é assíncrono ao fluxo de dados representados pelas setas verdes (tracejado e pontilhado) e ambos ocorrem depois do fluxo representado pelas setas amarelas (pontilhado).

A troca de informações entre os aplicativos ESPIM *mobile* e TEIRA não exige conexão com a *Internet*. O vídeo e os dados da terapia só serão enviados para o servidor TEIRA quando o *smartphone* do usuário estabelecer conexão *Wireless*.

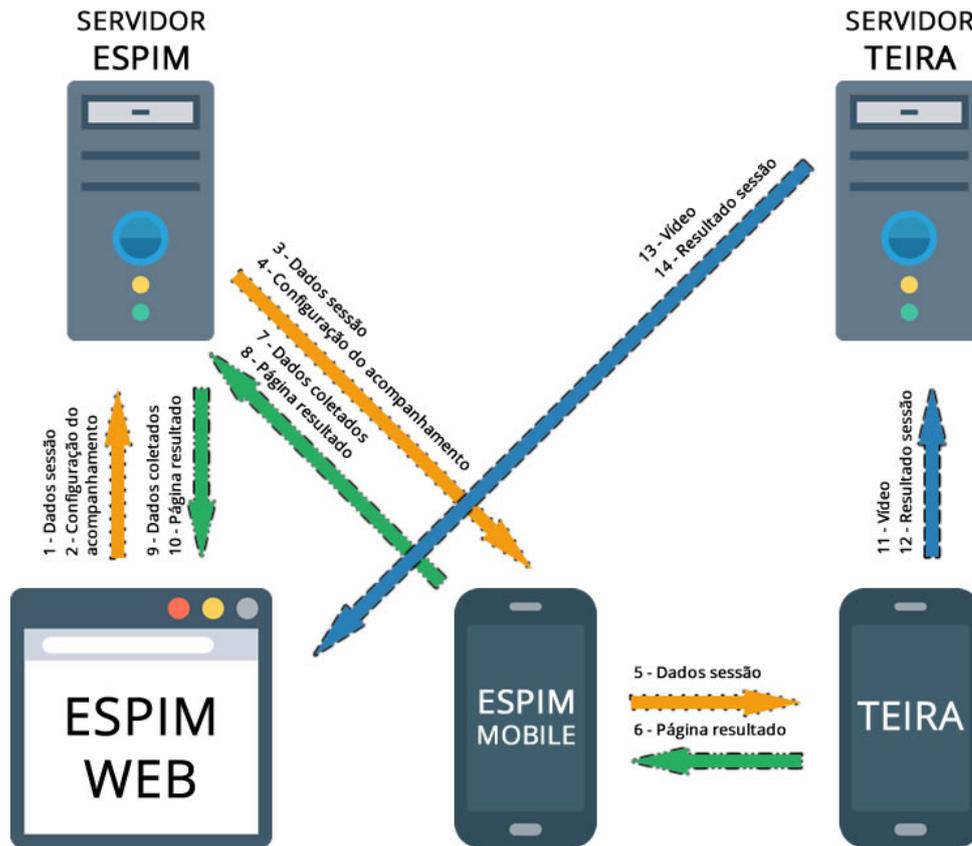


Figura 18 – Fluxo de informações entre as partes do sistema.

5.2.4 Implementação

Com o intuito de criar um protótipo do TEIRA, foi implementado um aplicativo para sistema Android. Foram utilizados o kit de desenvolvimento Android SDK versão 23, a plataforma de desenvolvimento Android Studio, linguagem de programação Java, linguagem de marcação XML e banco de dados SQLite (banco de dados nativo do sistema Android). O banco de dados SQLite irá servir para gravar as informações dos resultados de cada sessão realizada, sendo essas informações transferidas posteriormente para um servidor web.

O servidor disponibilizará um diretório no qual armazenará os arquivos de vídeos das sessões e os arquivos com informações da sessão. Essas informações são armazenadas em arquivos JSON.

A API Apache Commons Net¹ foi utilizada para a comunicação do aplicativo com o servidor *Web*, que atua por meio do protocolo FTP.

Um ambiente web também foi utilizado para a visualização dos resultados gerados de cada sessão (informações e vídeo), que poderão ser acessados pelo terapeuta na área de resultados do sistema ESPIM.

A comunicação entre o aplicativo TEIRA e o ESPIM ocorre por meio de dados que são

¹ <<https://commons.apache.org/>>

passados pelo objeto de mensagem *Intent*, nativo do Android. Esse objeto é utilizado iniciar uma *Activity* (tela de um aplicativo) e podem carregar valor-chave com informações de uma *Activity* para outra.

Para a reprodução da gravação na tela do *smartphone* foi utilizada a biblioteca Grafika,² que conta com uma variedade de recursos gráficos para manipulação de visualização da câmera. Algumas funções dessa biblioteca foram personalizadas para possibilitar a inversão da matriz de pixel capturados pela câmera que são carregados no *buffer* de memória do Android, a fim de causar o efeito de espelhamento da imagem.

Para executar todas as funcionalidades do aplicativo TEIRA, o *smartphone* deve estar com o sistema operacional Android atualizado com a versão 4.0.4 ou superior.

5.3 TEIRA (Terapia do Espelho Interativa com Realidade Aumentada)

Com o objetivo de implementar os recursos e conceitos idealizados no MTEIR-RA, foi desenvolvido o protótipo que será responsável por propiciar a sessão da terapia do espelho com realidade aumentada, assim como a captura das informações e armazenamento dos dados no servidor. A seguir, serão apresentadas as principais funcionalidades e interfaces do aplicativo TEIRA.

5.3.1 Menu principal

A primeira tela do sistema conta com um menu com as opções: Terapia RA (realidade aumentada), Exercícios, Lateralidade, Sessões e Sair, ver [Figura 19](#). Na primeira vez que o usuário abrir o aplicativo, ele terá que fornecer as permissões necessárias para a utilização do sistema, que são: Armazenamento, Câmera e Microfone. Caso usuário não forneça essas permissões para o aplicativo, o mesmo fechará, impossibilitando o uso do mesmo até que as permissões sejam aceitas.

5.3.2 Sessão de terapia do espelho

Ao criar um acompanhamento remoto pelo ESPIM *web*, conforme os requisitos levantados anteriormente, o terapeuta pode escolher entre os dois métodos de terapia do espelho: Terapia do Espelho RA (realidade aumentada) ou Terapia do espelho tradicional com captura de vídeo. Nos 2 métodos com acompanhamento remoto, o aplicativo irá capturar a sessão e criar um arquivo de vídeo e um de dados (JSON). Esse arquivo de vídeo é salvo em um diretório que por padrão não é apresentado na biblioteca de vídeo do usuário, evitando assim que o mesmo veja a captura completa da sessão. Quando o *smartphone* do paciente estabelecer conexão com a Internet, esses

² <<https://github.com/google/grafika>>

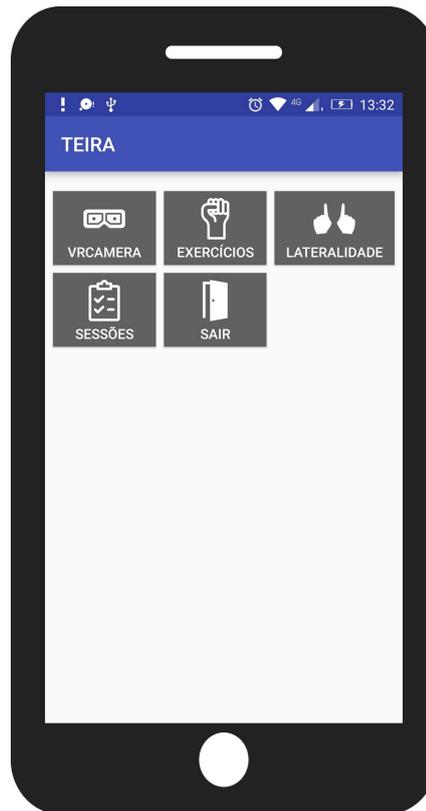


Figura 19 – Menu principal do TEIRA.

arquivos são transferidos para o servidor TEIRA. Após a transferência os arquivos são excluídos do dispositivo.

5.3.2.1 Terapia do Espelho RA (realidade aumentada)

O programa de Terapia do Espelho RA pode ser acessado de duas maneiras. Ele pode ser acessado através do Menu Principal ou por um agendamento do ESPIM, como mostrado na [Figura 17](#). Primeiramente será detalhado o método sem agendamento, que pode ser executado a qualquer hora e sem limite de tempo (estilo livre). O procedimento para a execução da terapia com realidade aumentada será enumerado em 5 etapas, sendo cada uma delas uma tela diferente.

Em todas essas etapas, as telas serão duplicadas e colocadas lado a lado, sendo a imagem da esquerda visualizada pelo olho esquerdo e a imagem da direita visualizada pelo olho direito, conforme apresentado no [Capítulo 2](#). Como cada olho verá a mesma imagem, não será reproduzido o efeito de estereoscopia.

As 5 etapas serão listadas a seguir:

1. Nesse momento, a câmera traseira do *smartphone* começa a capturar a imagem a sua frente e o usuário já poderá colocar o dispositivo no Google *cardboard*. Com o *cardboard* vestido, o paciente deve olhar para seus membros superiores e enquadrá-los nas marcações



Figura 20 – Tela de enquadramento. Mão esquerda representando o membro saudável e a mão direita o membro afetado.

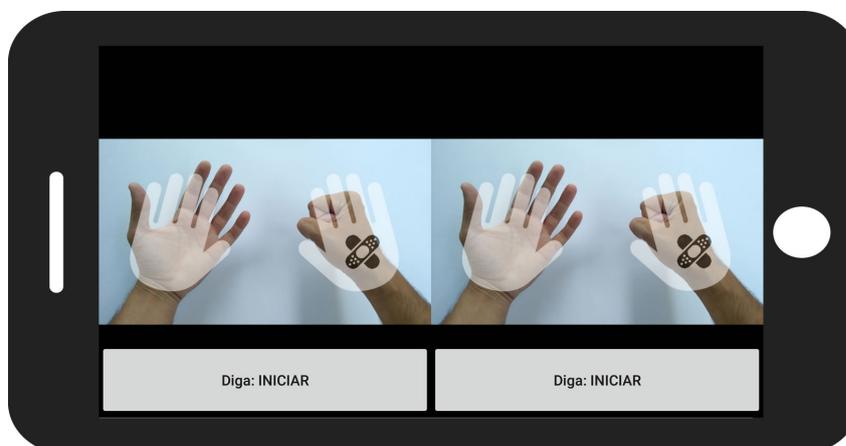


Figura 21 – Tela de enquadramento. Mão esquerda já está marcada como a mão saudável e a direita como a mão afetada.

indicadas na tela, como mostra a [Figura 20](#). O próximo passo é selecionar o lado do membro saudável por meio dos comandos de voz: "esquerda" ou "direita".

2. Uma nova tela será exibida, com o diferencial de um lado já estar definido com membro saudável e o outro como membro afetado ([Figura 21](#)). O paciente deverá então dizer: "iniciar".
3. A sessão de Terapia do Espelho é iniciada. A mensagem "Iniciado" é apresentada ao usuário com o intuito de instruí-lo que o espelhamento começou. A mensagem desaparece depois de alguns segundos para não tirar o foco do paciente. A posição do eixo de rotação do *smartphone* é então detectada pelo giroscópio e armazenada. Essa posição indica o ângulo correto do enquadramento dos membros. Esse ângulo é calculado em graus, tanto para a rotação horizontal quanto vertical.

Nessa tela, a metade da imagem capturada pela câmera referente ao lado do membro saudável é invertida horizontalmente e realocada para o lado oposto (sobrepondo o lado referente ao membro afetado), ver [Figura 22](#).

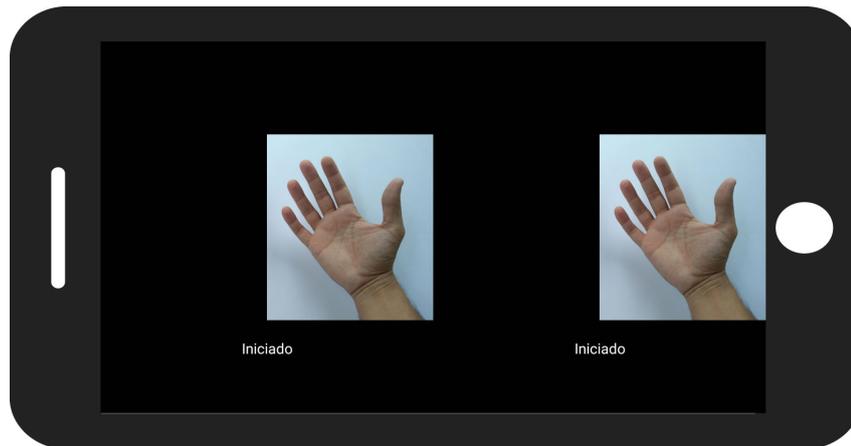


Figura 22 – Terapia iniciada. A imagem da mão esquerda (saudável) é invertida e posicionada em cima da mão direita (afetada).



Figura 23 – Uma mensagem é mostrada ao paciente informando que ele não está mais olhando para a posição inicial. Neste caso o paciente moveu a cabeça para a esquerda.

O paciente deverá então executar os exercícios conforme instruído pelo terapeuta. É importante destacar que durante a execução da terapia, a única imagem apresentada na tela é a imagem espelhada do membro saudável, evitando qualquer tipo de distração.

4. Caso o usuário movimente a cabeça para um dos lados, para cima ou para baixo, o ângulo do dispositivo irá mudar em comparação a posição inicial, significando que o paciente não está mais olhando para a área de enquadramento estabelecida no Item 1. Caso a diferença desse ângulo exceda o valor definido como tolerância, o espelhamento será interrompido e uma mensagem é exibida ao paciente informando que ele volte para a posição inicial (Figura 23). Como padrão foi adotado o valor de 30 graus para essa tolerância. Caso o paciente volte o foco para a posição inicial, a terapia é retomada (volta para o Item 3).

A segunda forma de se realizar a Terapia do Espelho RA é através do agendamento de uma sessão pelo ESPIM. É semelhante ao processo detalhado acima, porém com algumas peculiaridades. Neste modelo o paciente já começa na tela do Item 2, pois não há a necessidade da escolha do

lado (o terapeuta pré configura o lado do membro saudável de cada paciente). Nesse modelo, três parâmetros são definidos pelo terapeuta: tempo máximo da sessão, lado do membro saudável, graus (tolerância).

Vale ressaltar que para que o tempo máximo da sessão seja cumprido, o paciente deve permanecer na área de foco. Todo o tempo que o paciente permanecer fora do enquadramento não será contabilizado como tempo de terapia. Ao terminar o tempo o paciente é informado que a sessão foi finalizada com sucesso e o aplicativo ESPIM *mobile* é retomado. O paciente tem a opção de terminar a terapia antes de cumprir o tempo exigido pelo terapeuta.

Toda a sessão capturada pela câmera é salva em um arquivo de vídeo, que será transferido para o servidor e poderá ser visualizado pelo terapeuta futuramente. Junto com esse vídeo, um arquivo JSON é gerado com os seguintes dados: o histórico de todas as vezes que o paciente saiu da área de foco (enquadramento dos membros), lado do membro saudável, data que ele realizou a terapia, URL do vídeo, graus de tolerância, tempo máximo da sessão e o tempo cumprido pelo paciente. Tanto o vídeo quanto os dados são apagados do *smartphone* após o envio para o servidor TEIRA.

Vale lembrar que uma chamada telefônica pode ser iniciada durante a sessão, sobrepondo a tela do dispositivo. Para contornar esse problema é essencial que o paciente coloque o *smartphone* no modo avião.

5.3.2.2 Terapia do espelho tradicional com captura de vídeo

Diferente da Terapia do Espelho RA apresentada anteriormente, este modo só pode ser acessado em um acompanhamento remoto, pois seu objetivo é exclusivamente fazer a captura, não afetando na execução da terapia. Este método é baseado no modelo proposto por [Correia \(2015\)](#). Sentado, o paciente deve posicionar o espelho perpendicularmente a sua frente acima da mesa. O *smartphone* deve então ser posicionado a frente do espelho na posição horizontal com a tela virada para o espelho, como apresentado na [Figura 12](#). Na tela do *smartphone* é então apresentado a imagem capturada pela câmera frontal. Olhando para a tela do *smartphone*, o paciente deve enquadrar o espelho no centro da tela de modo que a imagem do paciente fique dividida simetricamente, como mostra [Figura 24](#). É importante que a face do paciente também seja capturada, pois o terapeuta deve saber se o paciente está mantendo o foco no reflexo do membro saudável. Após completar o enquadramento o paciente deve dizer o comando de voz "iniciar".

O aplicativo começará então gravar. Nesse momento, a imagem correspondente ao lado do membro afetado deverá ser apagada da tela do dispositivo, pois se o paciente olhar para a tela sem querer ele não irá ver seu membro afetado ([Figura 25](#)). Ao configurar este modelo de terapia, o terapeuta deve preencher 2 parâmetros: tempo máximo da terapia e lado do membro saudável. Quando o tempo máximo for atingido, o aplicativo cessa a captura e uma mensagem de sucesso é exibida, retornando para o aplicativo ESPIM *mobile*. Assim como na terapia do espelho RA, um

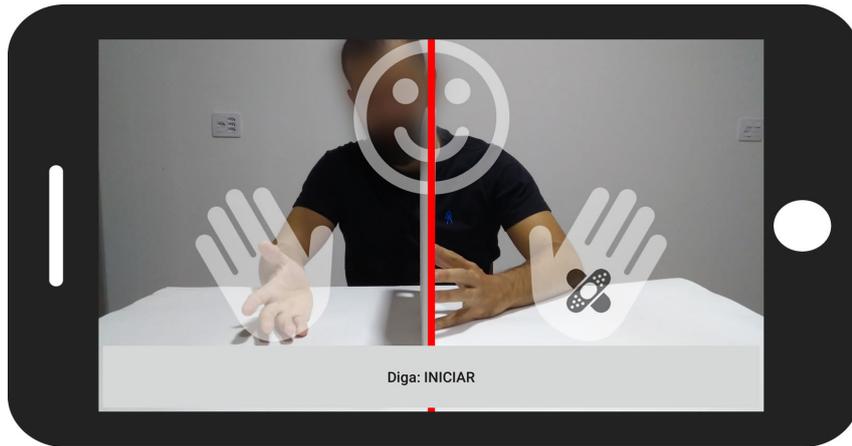


Figura 24 – Tela de enquadramento. O espelho deve estar posicionado no centro da tela de modo que cada membro fique de um lado. Seu rosto deve então ser enquadrado de modo que apareça na gravação.

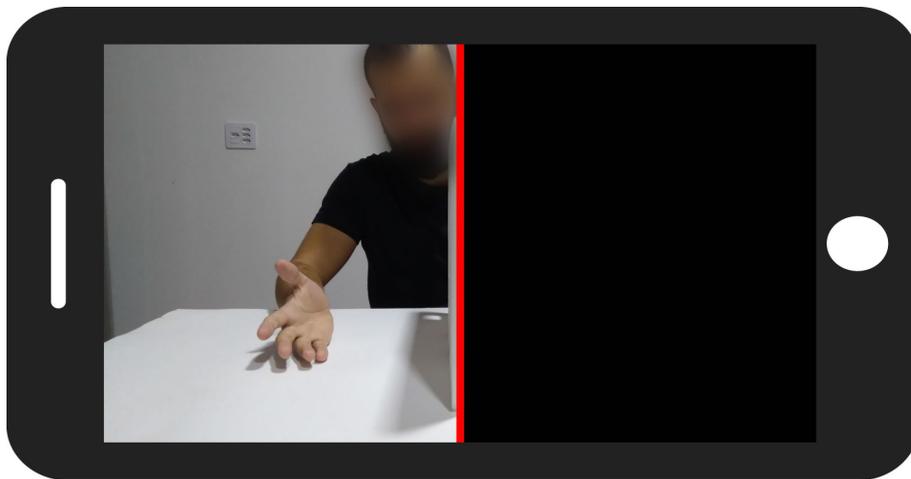
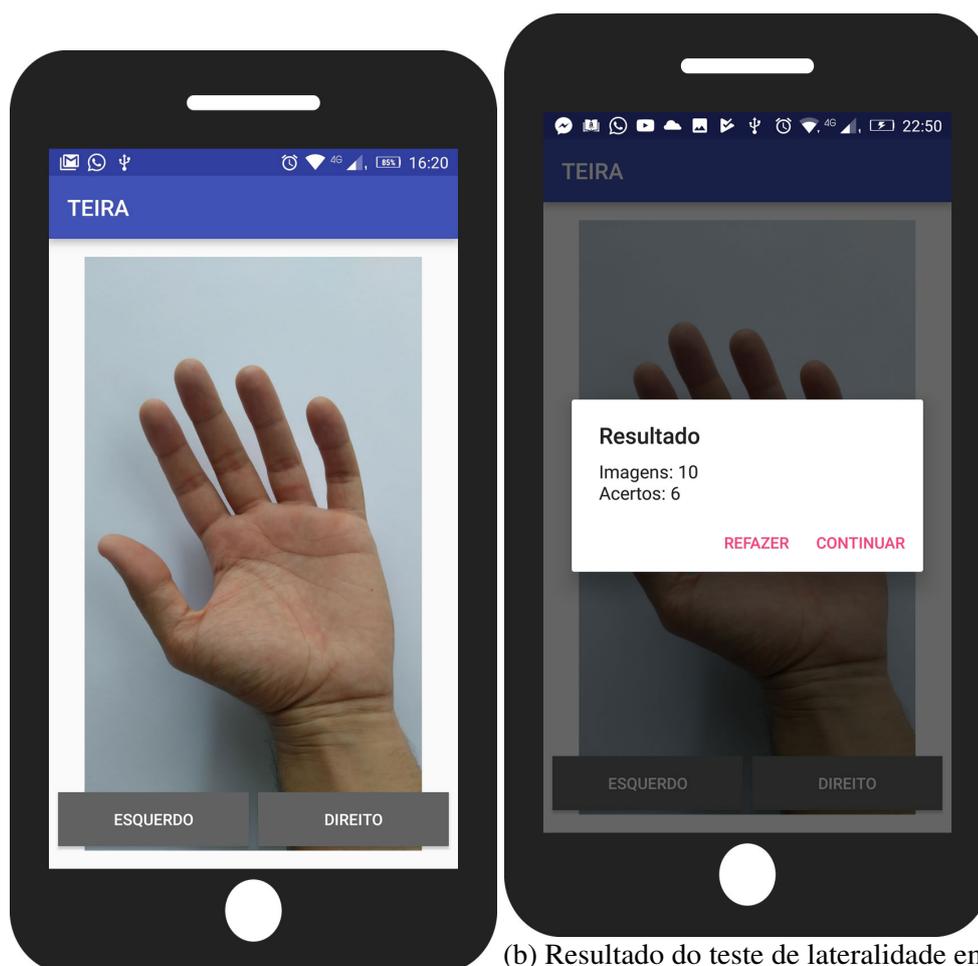


Figura 25 – O lado da tele referente ao membro afetado é apagado, de forma que se o paciente olhar para a tela do celular durante a sessão, não veja o membro.

arquivo de vídeo e outro de dados (JSON) é gerado, permanecendo no *smartphone* do usuário até que o *upload* seja concluído. Esses dados contém informações de quando o paciente realizou a terapia, com qual lado, tempo máximo proposto para a sessão, quanto tempo realmente foi cumprido e a URL do arquivo de vídeo.

5.3.3 Teste de lateralidade

Como abordado no [Capítulo 2](#), o teste de lateralidade é utilizado antes da terapia do espelho. Para a execução desse teste, algumas dezenas de fotos de membros foram selecionadas e incluídas no sistema junto com a informação do lado a que eles pertencem. Nessa área do sistema TEIRA, 30 dessas fotos são escolhidas aleatoriamente e elas são apresentadas individualmente para o paciente. A cada foto apresentada, o paciente deve responder se aquele membro é esquerdo ou direito ([Figura 26a](#)). Após responder as 30 questões o resultado é apresentado ao usuário, informando o número de acertos.



(a) A imagem de um membro é mostrada ao usuário, que deve selecionar o lado correto clicando em um dos botões apresentados na parte de baixo da tela (esquerda ou direita).

(b) Resultado do teste de lateralidade em um acompanhamento remoto, como o paciente acertou o número mínimo ele pode continuar ou refazer. Caso não tivesse acertado o número mínimo seria obrigado a refaze-lo novamente.

Figura 26 – Telas do teste de lateralidade do TEIRA.

Assim como a Terapia do Espelho RA, o teste de lateralidade pode ser acessado diretamente do menu principal, onde o paciente pode refaze-lo quantas vezes quiser, ou em um acompanhamento remoto. No acompanhamento remoto o terapeuta pode escolher se quer ativar ou não esse teste antes do paciente realizar uma sessão da terapia do espelho. Nesse modo o paciente deve acertar pelo menos 16 vezes para que possa prosseguir para a terapia (Figura 26b). Caso não acerte ele pode escolher refazer o teste de lateralidade, quantas vezes for necessário.

5.3.4 Sessões

A área sessões tem como finalidade mostrar para o paciente a lista das sessões que foram concluídas (Figura 27a). Cada item da lista pode ser acessado a fim de obter informações sobre aquela sessão, como por exemplo: se a sessão foi concluída com sucesso, o atual status do *upload do vídeo* e data em que ela foi realizada (Figura 27b). Desta forma o paciente pode acompanhar

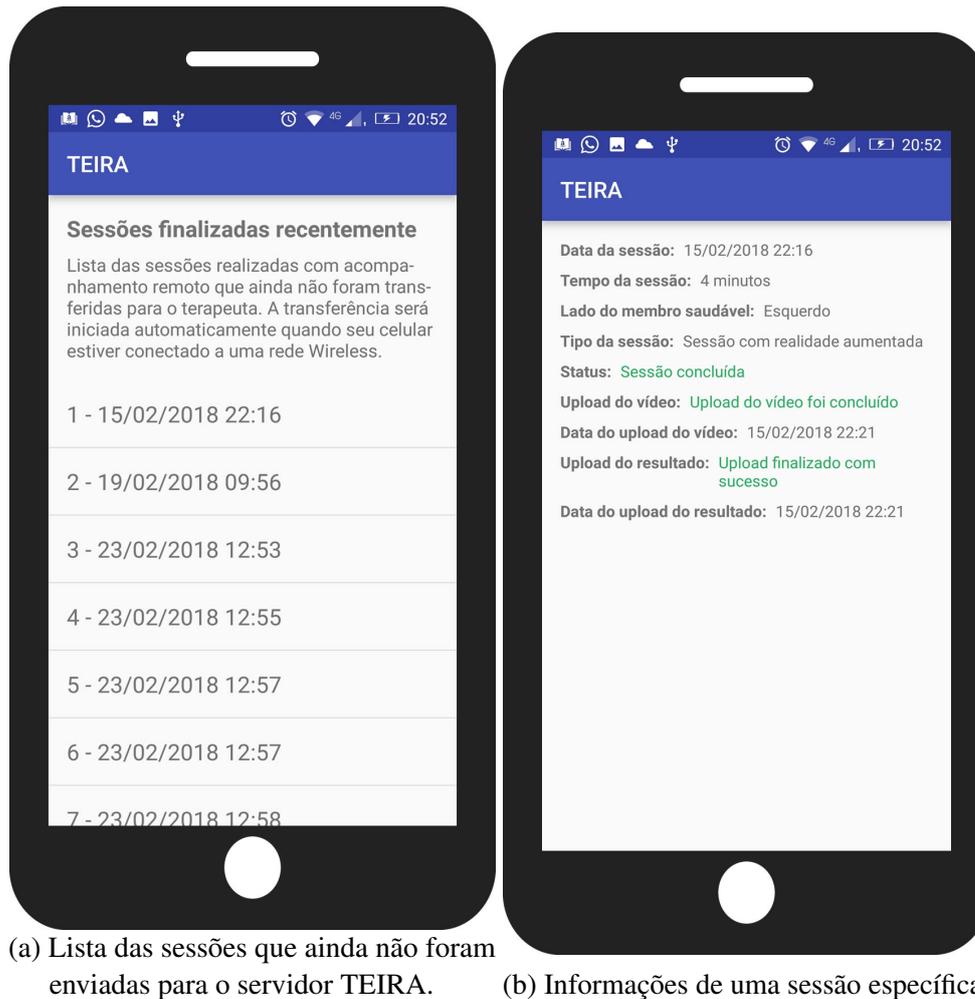


Figura 27 – Telas de sessões do TEIRA.

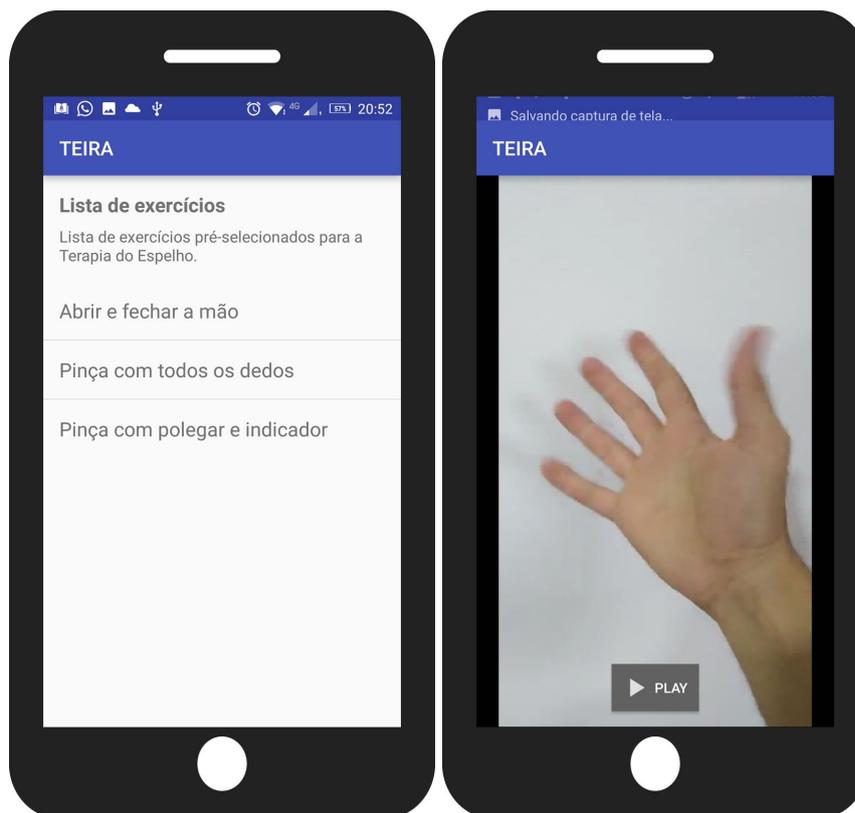
quais sessões ainda não foram enviadas para o terapeuta.

5.3.5 Exercícios

A tela de exercícios mostra uma lista com alguns exercícios pré definidos (Figura 28a). O usuário pode acessar um determinado exercício para poder visualizar um vídeo explicativo de como aquele exercício deve ser executado (Figura 28b).

5.3.6 Configuração do acompanhamento remoto utilizando o ESPIM web

Como apresentado no Seção 4.2, o ESPIM permite a configuração e agendamento de intervenções. Para criar um acompanhamento remoto com o TEIRA, é preciso que o terapeuta crie um programa no ESPIM web, adicione os pacientes, adicione os observadores, crie um evento e enfim faça o agendamento deste evento (método explicado no Seção 4.2). Dentro de um evento é necessário então adicionar uma intervenção do tipo "aplicação externa", ver Figura 29a. O terapeuta deve



(a) Lista de exercícios para consulta. (b) Vídeo explicativo de exercício.

Figura 28 – Telas de exercícios do TEIRA.

então digitar o nome do pacote do aplicativo TEIRA. O nome do pacote pode ser encontrado na URL do aplicativo na Google Play.

Nessa tela o terapeuta pode customizar alguns parâmetros da sessão de terapia (Figura 29b). Esses parâmetros, que influenciarão em como a sessão será executada pelo paciente, são:

- **tipoSessao:** Aqui o terapeuta pode escolher a forma que a terapia será realizada. *1* para sessões de terapia do espelho RA. *2* para terapia do espelho tradicional com captura de vídeo.
- **lateralidade:** *1* para exibir o teste de lateralidade antes da sessão de terapia. *0* para ir direto para a terapia.
- **tempoSessao:** É o tempo máximo de cada sessão que o paciente realizará. Deve ser informada em minutos.
- **ladoMembroEspelhado:** *1* para informar que o lado do membro saudável do paciente é o esquerdo. *2* para o direito. Parâmetro válido apenas para terapia do espelho RA.
- **graus:** Valor em graus da tolerância de movimento que o paciente pode fazer com a cabeça antes de ser notificado para voltar pra posição inicial. Parâmetro válido apenas para terapia do espelho RA.

2 - Aplicação Externa

1ª intervenção

Obrigatória

Digite a descrição da aplicação (73/800):

Por favor, execute a sessão de terapia do espelho com realidade aumentada

[ANEXAR MÍDIA](#)

Digite a URL do aplicativo na Google Play (28/50):

br.usp.icmc.intermidia.teira

Parâmetros

1 ladoMembroEspelhado

1

2 tipoSessao

1

3 tempoSessao

10

4 graus

25

5 lateralidade

1

- (a) O terapeuta pode marcar a execução da tarefa como obrigatória, escrever uma mensagem para o paciente, anexar uma mídia (imagem, áudio ou vídeo) e escolher qual o aplicativo que será disparado (fornecendo o nome de seu pacote).
- (b) Parâmetros utilizados para configuração de um acompanhamento remoto com terapia do espelho RA no TEIRA. Utilizamos os parâmetros: tipoSessao, lateralidade, tempoSessao, ladoMembroEspelhado e graus.

Figura 29 – Configuração de uma aplicação externa no ESPIM *web*.

Além de configurar os parâmetros, o terapeuta pode também configurar uma mensagem de texto que será exibida antes do usuário ser direcionado para a aplicação externa (TEIRA).

5.3.7 Realizando um acompanhamento remoto

Para realizar um acompanhamento remoto, o paciente deve estar logado com sua conta Google no aplicativo ESPIM *mobile*. Conforme o agendamento do acompanhamento programado pelo terapeuta, o ESPIM *mobile* disparará uma notificação solicitando que o paciente execute o acompanhamento remoto. Ao iniciar o acompanhamento o usuário deve realizar as intervenções que foram programadas pelo terapeuta, como: responder a uma pergunta aberta, responder a uma pergunta de múltipla ou iniciar uma aplicação externa. Na [Figura 30a](#) podemos observar a tela do ESPIM *mobile* que solicita ao usuário iniciar a tarefa do aplicativo TEIRA. Ao clicar em "INICIAR" o aplicativo TEIRA é aberto e a primeira tela a ser apresentada é o teste de lateralidade (apresentado na [Subseção 5.3.3](#)), desde que o terapeuta tenha configurado como obrigatória a execução desse teste. Caso o paciente acerte a pontuação necessária no

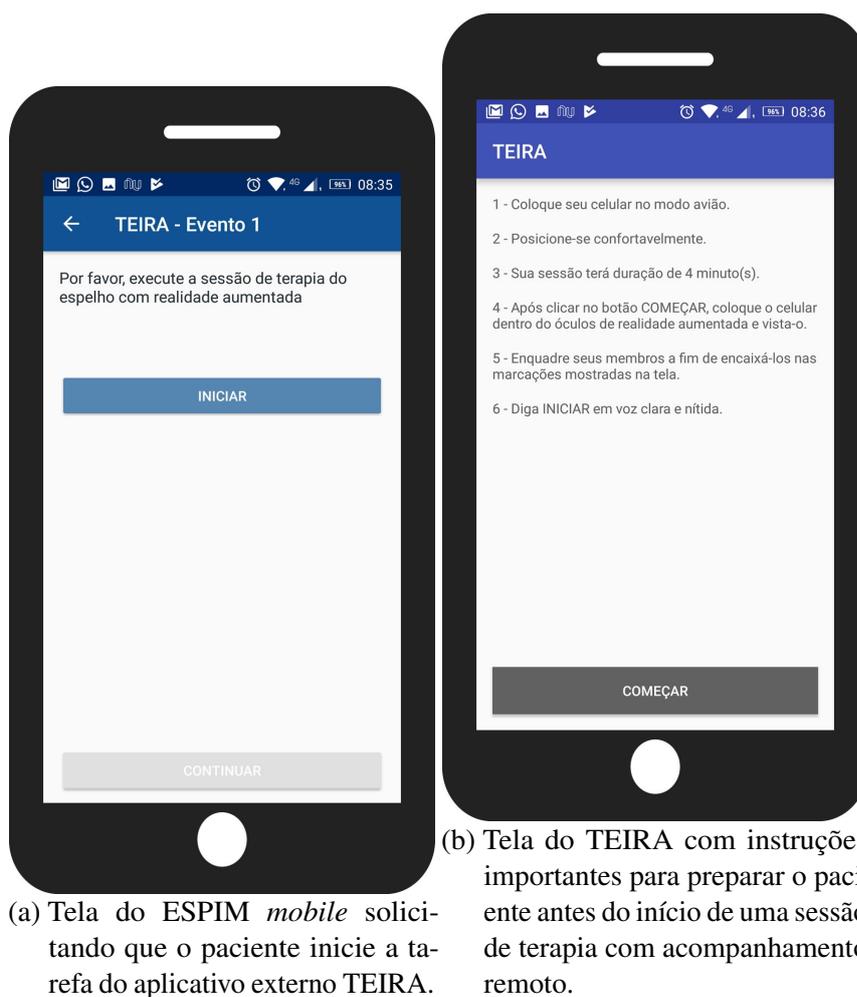


Figura 30 – Acompanhamento remoto

teste de lateralidade e clique em "Continuar" ou caso o terapeuta não tenha exigido o teste, a tela de instruções será apresentada (Figura 30b). O objetivo dessa tela é informar o usuário do que ele terá que fazer e como interagirá com o sistema na próxima etapa. Ao clicar em "COMEÇAR" ele será redirecionado para a tela da terapia, que pode ser tanto a Terapia do espelho tradicional com captura de vídeo terapia (Subsubseção 5.3.2.2) quanto a Terapia do espelho RA (Subsubseção 5.3.2.1).

Após o final da sessão o aplicativo ESPIM *mobile* é retomado informando uma mensagem de sucesso. O paciente pode então avançar para outras intervenções configuradas após a sessão da terapia ou concluir o acompanhamento, dependendo de como o terapeuta configurou.

5.4 Avaliação Heurística

Com o intuito de corrigir os principais problemas de usabilidade do sistema, foi realizada uma Avaliação Heurística — método de inspeção de usabilidade apresentado por Nielsen e Molich (1990). A avaliação fez uso do conjunto de heurísticas propostas por Nielsen e Molich (1990),

apresentado a seguir para referência nas próximas seções:

1. Visibilidade do status do sistema.
2. Correspondência entre o sistema e o mundo real.
3. Controle do usuário e liberdade.
4. Consistência e padrões.
5. Prevenção de erros.
6. Reconhecimento em vez de relembração.
7. Flexibilidade e eficiência de uso.
8. Estética e design minimalista.
9. Ajudar os usuários a reconhecer, diagnosticar e a se recuperar de erros (ou corrigi-los).
10. Ajuda e documentação.

Para realizar uma avaliação heurística, os avaliadores podem executar tarefas no sistema procurando por problemas de usabilidade que infrinjam uma ou mais heurísticas. Cada problema deve ser listado e classificado com um grau de severidade. Os graus de severidade, do mais simples ao mais importante, são: problema cosmético, problema pequeno, problema grande e problema catastrófico. Após catalogarem os problemas individualmente, os avaliadores devem se unir, discutir e gerar um relatório consolidado.

Para a avaliação do aplicativo TEIRA, convidamos dois especialistas na área de interação humano-computador com experiência em Avaliação Heurística, ambos cursando doutorado em Ciências da Computação no Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo, Campus de São Carlos. Os avaliadores foram preparados e instruídos sobre: quem são os usuários reais (personas), as partes do sistema a serem avaliadas e em qual domínio esse sistema pertence. Foram então selecionadas 4 tarefas. Posteriormente foi solicitado aos especialistas que avaliassem essas tarefas.

As tarefas que solicitamos que os especialistas executassem quando da avaliação são apresentadas nas próximas seções. Juntamente com a apresentação das tarefas, são indicados os problemas de maior grau de severidade encontrados, bem como as soluções que foram aplicadas no sistema TEIRA com o objetivo de resolver esses problemas.

5.4.1 Realizar uma sessão de terapia do espelho com realidade aumentada agendada por meio do programa ESPIM web

5.4.1.1 Problemas encontrados

O primeiro problema encontrado foi no teste de lateralidade, que antecede a sessão da terapia do espelho propriamente dita. Como o teste de lateralidade não continha muitas imagens, elas acabavam se repetindo. Caso elas se repetissem e o usuário clicasse no botão "direita" ou "esquerda", o sistema não dava nenhum *feedback* pra informar para o usuário que ele tinha

acertado ou errado, dando a impressão que nada tinha acontecido (heurística 1). O segundo problema apresentado pelos avaliadores foi na tela de instruções. Essa tela pedia para o usuário colocar o dispositivo no modo avião, porém ao minimizá-la para selecionar o modo avião ela perdia o histórico, fazendo com que o usuário voltasse para o teste de lateralidade (heurística 5).

5.4.1.2 Soluções aplicadas

Em relação ao primeiro problema, um efeito de aparecer suavemente foi adicionado às imagens do teste de lateralidade.

O segundo problema foi tratado como segue: a *activity* da tela de instruções foi modificada para guardar o histórico de navegação do usuário, fazendo com que o mesmo volte do ponto de partida caso minimize a tela.

5.4.2 **Após realizar a sessão agendada, verificar se o vídeo capturado na sessão foi salvo em nuvem.**

5.4.2.1 Problema encontrado

A tela de sessões não era intuitiva o suficiente para o usuário saber que lá continham as sessões já realizadas por meio do ESPIM *mobile* e serviam apenas para consulta, dando a impressão que lá era a lista com os agendamentos dos acompanhamentos no qual o usuário deveria clicar para realizar uma sessão da terapia (heurística 1).

5.4.2.2 Solução aplicada

O título do menu que acessava a área das sessões foi alterado para "Lista de sessões já realizadas" e uma breve descrição foi adicionada à tela das sessões.

5.4.3 **Realizar uma sessão de terapia do espelho com realidade aumentada diretamente pelo aplicativo TEIRA, sem o agendamento pelo ESPIM web (estilo livre).**

5.4.3.1 Problemas encontrados

O principal problema encontrado nessa tarefa foi o fato do aplicativo ser pouco instrutivo para usuários iniciantes (heurística 10). O menu do aplicativo continha ícones e nomes pouco objetivos, que não passavam o significado real da ação (heurísticas 5, 2 e 6). O menu também não apresentava uma boa organização espacial (heurística 7). Ao concluir um teste de lateralidade diretamente do menu inicial, o aplicativo mostrava um *dialog* apenas com a opção de refazer, impossibilitando ao usuário sair da tela sem precisar fechar o aplicativo (heurísticas 1 e 3). Nas telas do sistema, o único jeito de voltar para a tela anterior é por meio do botão voltar do Android, o que pode não ser intuitivo (heurística 3).

5.4.3.2 Soluções aplicadas

Uma tela de ajuda foi adicionada no TEIRA a fim de sanar possíveis dúvidas dos usuários. Os nomes dos itens do menu foram refeitos juntamente com a disposição dos mesmos. Uma opção "sair" foi adicionada ao *dialog* da tela de lateralidade. Uma seta apontando para a esquerda (voltar) foi adicionada ao cabeçalho do aplicativo TEIRA.

5.4.4 Consultar um determinado exercício para tirar dúvidas.

5.4.4.1 Problemas encontrados

O termo "Exercícios" no menu da tela inicial não sugere conteúdo explicativo ou de ajuda, dando a entender que lá o usuário terá que executar os exercícios (heurística 2).

5.4.4.2 Soluções aplicadas

O nome do botão "Exercícios" foi alterado para "Guia de exercícios". Além disso, dentro da tela dos exercícios foi adicionado uma pequena instrução.

Na próxima seção é apresentado o resultado de uma consulta realizada a três especialistas sobre a solução proposta.

5.5 Consulta a três especialistas em Terapia do Espelho

A fim de avaliar preliminarmente a proposta apresentada na seção anterior, foi realizada uma consulta a três terapeutas ocupacionais, consulta essa realizada por meio de questionários aplicado por meio do *Google Forms*. O resultado dessa consulta é apresentado nesta seção.

Para identificar os avaliadores, vamos tratar os terapeutas como TO1, TO2 e TO3. Os três terapeutas possuem experiência na prática da terapia do espelho, sendo TO1 docente na área de terapia ocupacional, TO2 e TO3 alunos de mestrado em terapia ocupacional.

Antes de aplicar o questionário, o modelo adotado na proposta desse trabalho foi apresentado em sessão presencial para os terapeutas, juntamente com uma demonstração do funcionamento do aplicativo TEIRA. Três dias depois do encontro presencial, o questionário contendo nove questões abertas foi enviado aos terapeutas. Os terapeutas foram solicitados a responderem o questionário, no qual aceitaram participar e compartilhar suas opiniões. Os terapeutas reponderam dentro das 24 horas seguintes após o envio do formulário.

As nove questões serão apresentadas a seguir, juntamente com uma síntese das respostas fornecidas pelos terapeutas. Essas questões foram criadas pelo autor desta pesquisa, no qual visou encontrar indícios de que o sistema poderá ajudar pacientes reais a realizarem a terapia.

1. Qual sua opinião sobre a realização da terapia do espelho com realidade aumentada feita em casa, administrada pelo terapeuta por meio de acompanhamento remoto?

TO1 e TO3 responderam que esse método pode ser motivador, capaz de facilitar o acompanhamento, podendo assim aumentar a aderência ao tratamento. TO2 ressaltou as vantagens do acompanhamento remoto, e disse que é muito importante para o terapeuta receber um *feedback* diário, pois através dele é possível melhorar ou mudar as estratégias de tratamento.

2. Você acha que a realização da terapia do espelho com realidade aumentada poderia trazer benefícios satisfatórios assim como a terapia com o espelho tradicional?

Para TO1, o princípio da utilizado é o mesmo, porém dispensa o uso do espelho, podendo estimular ainda mais a adesão do paciente. TO2 destacou a importância de que no método proposto neste trabalho não sofre estímulos externos, garantindo a concentração durante a sessão da terapia do espelho, algo essencial para obter resultados satisfatórios. TO3 foi da mesma opinião mas ressaltou que, para trazer os benefícios, o terapeuta deve explicar ao paciente como utilizar corretamente o método e monitora-lo para certificar-se que o mesmo está utilizando de maneira correta.

3. O vídeo que será capturado durante a sessão com realidade aumentada apresenta uma perspectiva diferente (em primeira pessoa), representando o que o paciente realmente está vendo. Essa abordagem pode oferecer algum benefício para o terapeuta na hora de analisar essa gravação?

Segundo TO1, o único benefício é saber que o paciente manteve a concentração no reflexo. Também destacou que para o terapeuta é de suma importância poder visualizar a gravação conjunta dos dois membros, para assim poder avaliar a evolução ao longo do tratamento. Já TO2 afirmou que seria possível identificar algumas reações do paciente durante a terapia. TO3 apenas concordou que pode oferecer benefícios.

4. O método adotado nesse projeto força o paciente a visualizar apenas o reflexo do membro saudável e nada mais. Qual é a sua opinião sobre essa questão?

TO1 definiu como o aspecto mais importante do modelo adotado neste trabalho é o fato de que o paciente não tirar o foco visual da mão saudável, pois quando o paciente pode olhar diretamente para o membro saudável há interferência na técnica de maneira negativa. TO2 também respondeu que esse aspecto pode garantir concentração na técnica, melhorando o desempenho da mesma. TO3 observou que esse método é ideal para simular o método tradicional.

5. Em sua opinião, por usar uma tecnologia diferente a de costume, os pacientes poderiam se sentir mais motivados durante o período de tratamento?

Na opinião de TO1, o fato do paciente ter que carregar um espelho consigo pode ser facilitado pelo método proposto, tendo assim que carregar apenas um óculos de realidade aumenta, pois o *smartphone* já faz parte de sua vida cotidiana. O método empregado pode então motivar a execução da terapia em outros ambientes que não sejam a residência do paciente. Segundo a resposta de TO2, mudar a estratégia da terapia pode despertar o interesse nos pacientes, garantindo a motivação dos mesmos. TO3 também concordou, fazendo a ressalva que o indivíduo deve estar familiarizado com a tecnologia.

6. Para a realização da terapia com realidade aumentada apresentada nesse projeto, o paciente deve utilizar o *smartphone* e um óculos de realidade aumentada. Você acha que isso pode ser um empecilho para a aderência de novos pacientes a esse método? E a longo prazo?

TO3 alegou que pode depender da idade do paciente e sua familiaridade com *smartphones*, sendo que usuários mais jovens teriam problemas em utilizar o óculos de realidade aumentada. Já para usuários com mais idade, talvez apresentem problemas para aderir à tecnologia. TO3 ainda afirmou que não vê problema a longo prazo pois, se o paciente tiver comprometimento, a tecnologia não será problema. Na visão do TO2, não seria problema pois grande parte da população tem acesso a *smartphone* e o óculos de realidade aumentada tem valor acessível. Já TO3 questionou o preço do óculos de realidade aumentada e as condições financeiras do paciente, respondendo que talvez possa ser um empecilho, dependendo da classe social do usuário.

7. Em quais patologias o sistema proposto poderia ser aplicado?

Todos responderam em dois casos: lesões de plexo braquial e Acidente Vascular Cerebral. TO1 e TO2 citaram também outras patologias, entre elas: amputação e síndrome dolorosa.

8. Em sua opinião quais os principais problemas da proposta do trabalho?

TO1 e TO3 responderam que o fato do paciente não estar familiarizado com a tecnologia pode ser um problema. TO3 colocou também que talvez a situação financeira do paciente e que a descrença na efetividade do tratamento possam também ser uma barreira.

9. Em sua opinião quais as principais vantagens da proposta do trabalho?

TO1 e TO2 afirmaram que a praticidade é uma vantagem do modelo proposto, pois usa um *smartphone* e um óculos de realidade aumentada, sendo mais fáceis de se transportar do que um espelho. TO1 também considerou como vantagem o fato de que o espelhamento com realidade aumentada empregado no trabalho não permite a visualização do membro saudável, e sim apenas o seu reflexo, evitando que o paciente perca o foco visual durante a realização de uma sessão da terapia. Outra vantagem considerada pelo terapeuta TO3 foi o fato de poder acompanhar as sessões remotamente. TO3 destacou como vantagem o uso de notificações para lembrar que o usuário faça uma sessão da terapia.

Como resultado das respostas do questionário, os principais pontos são:

- O método apresentado pode facilitar a execução da terapia pois o paciente não precisa do espelho, que em muitos caso é um objeto grande e frágil. O paciente precisa apenas de um *smartphone* com sistema operacional Android e um óculos de realidade aumentada (Google Cardboard).
- O sistema evita que o paciente visualize o membro saudável diretamente, forçando-o a se concentrar apenas no reflexo (membro espelhado).
- O sistema ajuda o usuário a focar na tarefa, ao dar *feedback* apenas se o paciente mantém o foco visual no reflexo (membro espelhado).
- O método e o sistema permitem que o terapeuta gerencie e acompanhe as sessões executadas por seus pacientes remotamente.

5.6 Considerações finais

Com o resultado do levantamento de requisitos e da revisão de trabalhos relacionados encontrados na literatura, foi definido um modelo que permite o acompanhamento remoto da terapia do espelho com realidade aumentada utilizando o *smartphone* do paciente. A solução computacional proveniente deste modelo resultou no aplicativo TEIRA, que permitiu conciliar o acompanhamento remoto com espelho tradicional com o acompanhamento remoto com realidade aumentada. Além disso, a integração do TEIRA com o método ESPIM e sua infraestrutura associada permitiu fornecer não apenas a customização como também o reúso de programas de acompanhamento, o que pode permitir uma melhor coleta de dados e uma menor sobrecarga de trabalho para o terapeuta.

O questionário realizado com os terapeutas sobre o modelo proposto possibilitou uma melhor compreensão da realidade dos pacientes. Baseado nas respostas do questionário e no levantamento de requisitos realizado neste trabalho, podemos destacar que umas das maiores preocupações apresentadas pelos terapeutas são: manter a motivação dos pacientes e certificar-se que o mesmo mantenha a atenção no reflexo do membro sadio. Já a maior desvantagem analisada pelos terapeutas pareceu ser a necessidade do paciente estar familiarizado com a tecnologia, podendo ser problemática para usuários idosos.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Métodos como a Terapia do Espelho apresentaram benefícios na reabilitação de pacientes com diversas patologias, entre elas podemos destacar: dor do membro fantasma em casos de amputação, Acidente Vascular Cerebral, síndrome dolorosa e lesão do plexo braquial. Por meio de entrevistas periódicas com terapeutas especialistas nessa terapia, foi possível compreender algumas dificuldades encontradas durante o período de tratamento dos pacientes. Como o período de tratamento pode levar vários meses e nem sempre o resultado é obtido de imediato, os pacientes podem se sentir desmotivados, o que por sua vez demanda um acompanhamento com maior frequência por parte do terapeuta. A execução das sessões da terapia são realizadas várias vezes ao dia, podendo muitas vezes ser dificultada pelo fato do paciente ter que carregar um espelho consigo. Outra dificuldade encontrada se dá no fato de o paciente precisar manter a atenção sempre no reflexo do membro saudável e nunca no membro afetado.

São vários os trabalhos reportados na literatura que envolvem o uso de recursos computacionais para dar apoio à prática da terapia do espelho. Entre eles podemos citar trabalhos que utilizaram tecnologias de realidade aumentada a fim de criar o espelhamento do membro afetado, com o objetivo de garantir uma maior imersão do usuário. Nesses trabalhos, pudemos observar o uso de tecnologias como: *Head-Mounted Display*, monitores, câmeras, sensores e *joysticks*. Entretanto, essas tecnologias podem ser uma barreira para a aplicação da técnica com usuários reais, já que são meios difíceis de serem implementados em larga escala e podem não serem acessivelmente econômicas para a aquisição pelos pacientes. Outra limitação encontrada foi o fato de essas tecnologias não proporcionarem um acompanhamento remoto que dê subsídios para que o paciente execute a terapia de maneira correta, mantendo sempre o foco no reflexo do membro saudável.

Com intuito de superar essas dificuldades, nesta dissertação apresentamos o MTEIR-RA, Modelo para Terapia do Espelho Interativa Remota com Realidade Aumentada. No modelo apresentado foi possível unir as soluções do acompanhamento remoto proposto MTEIR, proposto

originariamente por [Correia \(2015\)](#), com técnicas de realidade aumentada encontradas em vários dos trabalhos reportados na literatura. No MTEIR-RA o paciente pode realizar sessões de terapia do espelho com realidade aumentada diretamente em seu *smartphone* utilizando o aplicativo TEIRA em conjunto com o Google Cardboard. Com a integração do TEIRA com as ferramentas ESPIM *web* e ESPIM *mobile*, é possível que o terapeuta gerencie e acompanhe remotamente seus pacientes, e colete dados importantes para poder avaliar o progresso do paciente durante o período do tratamento.

O modelo MTEIR-RA proposto foi desenhado em paralelo ao desenvolvimento iterativo de uma solução computacional: o projeto de ambos, modelo e infraestrutura computacional, receberam sugestões de especialistas na terapia durante o seu desenvolvimento.

Segundo a avaliação dos terapeutas, o modelo proposto pode trazer contribuições significativas para a terapia do espelho. Entre elas podemos destacar a substituição do espelho pelo óculos, que é muito mais discreto e portátil. Além da dificuldade do transporte, o espelho limita o paciente a praticar a terapia sobre uma mesa, podendo ser algo difícil de se fazer quando há grandes limitações no membro. Já com o Google Cardboard o paciente pode realizar a terapia sentado com os braços no colo, por exemplo. Outra vantagem observada pelos terapeutas foi de que o sistema auxilia o paciente a manter a visão no reflexo gerado pelo membro saudável, evitando a perda do foco. Outro fator importante a ser destacado é que, para a aplicação do método, é necessário apenas de um óculos de realidade aumentada (supondo-se que o paciente já tenha um *smartphone*), item que tem um custo relativamente baixo se comparado com outras alternativas reportadas na literatura.

Como principal trabalho futuro, se faz necessária a avaliação da usabilidade e da efetividade da proposta com pacientes e seus terapeutas. Está em fase de preparação para submissão para o comitê de ética o projeto de pesquisa associado a tal avaliação. Esse projeto prevê a utilização do MTEIR-RA com um grupo de pacientes com lesão do plexo braquial sob a administração de terapeutas ocupacionais especialistas em terapia do espelho da Universidade de São Paulo, Campus Ribeirão Preto.

Como uma das limitações encontradas neste trabalho podemos citar que a ferramenta força o usuário a manter apenas a posição de enquadramento dos membros, não detectando se o usuário remove o braço da área de captura. Como trabalhos futuros, métodos de detecção de imagem e movimento podem ser aplicados para garantir que o membro permaneça no lugar certo para certificar-se que o paciente está executando os exercícios.

Alguns resultados obtidos neste trabalho foram organizados para compor um artigo submetido e aceito para apresentação oral no Workshop de Teses e Dissertações do XXIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web:

Y. N. Z. G. Magagnatto e M. G. C. Pimentel. Framework multimídia para apoio a Terapia do Espelho utilizando smartphone e realidade aumentada. Anais do XXIII

Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web: Workshops e Pôsteres, Gramado, 2017.

Além disso, a efetiva contribuição do mestrando no componente ESPIM Web foi reportada no artigo:

I. Zaine, K. R.H. Rodrigues, B. C.R. da Cunha, C. C. Viel, A. F. Orlando, O. J. Machado Neto, Y. Magagnatto, e M.G.C. Pimentel. 2016. ESPIM: An Ubiquitous Data Collection and Programmed Intervention System using ESM and Mobile Devices. In Proceedings of the 22nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web (Webmedia '16). ACM, New York, NY, USA, 13-14. DOI: <<https://doi.org/10.1145/2976796.2988222>>

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. Análise epidemiológica do acidente vascular cerebral no brasil. **Rev de Neuroci-enc**, v. 20, n. 4, p. 481–2, 2012. Citado na página 25.
- ARYA, K. N.; PANDIAN, S. Effect of task-based mirror therapy on motor recovery of the upper extremity in chronic stroke patients: a pilot study. **Topics in stroke rehabilitation**, Taylor & Francis, v. 20, n. 3, p. 210–217, 2013. Citado na página 30.
- BACH, F.; SCHMITZ, B.; MAASS, H.; ÇAKMAK, H.; DIERS, M.; B-BODMANN, R.; KAMPING, S.; FLOR, H. Using interactive immersive vr/ar for the therapy of phantom limb pain. In: UNIVERSITY OF AIZU PRESS. **Proceedings of the 13th International Conference on Humans and Computers**. [S.l.], 2010. p. 183–187. Citado nas páginas 15, 38 e 43.
- BAE, J.-H.; KIM, Y.-M.; MOON, I. Wearable hand rehabilitation robot capable of hand function assistance in stroke survivors. In: IEEE. **Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob), 2012 4th IEEE RAS & EMBS International Conference on**. [S.l.], 2012. p. 1482–1487. Citado na página 41.
- BAXTER, K. K.; AVREKH, A.; EVANS, B. Using experience sampling methodology to collect deep data about your users. In: **Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: ACM, 2015. (CHI EA '15), p. 2489–2490. ISBN 978-1-4503-3146-3. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2702613.2706668>>. Citado na página 35.
- BERKEL, N. V.; FERREIRA, D.; KOSTAKOS, V. The experience sampling method on mobile devices. **ACM Comput. Surv.**, ACM, New York, NY, USA, v. 50, n. 6, p. 93:1–93:40, dez. 2017. ISSN 0360-0300. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3123988>>. Citado na página 35.
- BEZERRA, E. **Princípios de Análise e Projeto de Sistema com UML**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2017. v. 3. Citado na página 61.
- CACCHIO, A.; BLASIS, E. D.; BLASIS, V. D.; SANTILLI, V.; SPACCA, G. Mirror therapy in complex regional pain syndrome type 1 of the upper limb in stroke patients. **Neurorehabilitation and neural repair**, Sage Publications, 2009. Citado na página 30.
- CHUNG, E. H.; GUISE, K. D. Qtc intervals can be assessed with the alivecor heart monitor in patients on dofetilide for atrial fibrillation. **Journal of electrocardiology**, Elsevier, v. 48, n. 1, p. 8–9, 2015. Citado na página 23.
- CORREA-AGUDELO, E.; HERNANDEZ, A. M.; FERRIN, C.; GOMEZ, J. D. Vilimbs: Improving phantom limb treatment through multisensory feedback. In: ACM. **Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems**. [S.l.], 2015. p. 1313–1318. Citado nas páginas 15 e 39.
- CORREIA, R. D. **Sistema de apoio a reabilitação neuromotora: modelo de acompanhamento remoto para a terapia do espelho**. Dissertação (Mestrado) — ICMC-USP, Brasil, 2015. Citado nas páginas 15, 24, 25, 26, 45, 46, 47, 48, 49, 53, 55, 56, 57, 60, 61, 69 e 84.

- CUNHA, B. C.; NETO, O. J. M.; PIMENTEL, M. d. G. Movia: a mobile video annotation tool. In: ACM. **Proceedings of the 2013 ACM symposium on Document engineering**. [S.l.], 2013. p. 219–222. Citado na página 49.
- DALPIAN, A. P. C.; GRAVE, M. T. Q.; PÉRICO, E. Avaliação da Percepção Corporal em Pacientes Pós-Acidente Vascular Cerebral (AVC). **Rev Neurocienc**, v. 21, n. 3, p. 377–382, 2013. Citado na página 25.
- DARNALL, B. D.; LI, H. Home-based self-delivered mirror therapy for phantom pain: A pilot study. **Journal of Rehabilitation Medicine**, v. 44, p. 254–260, 2012. Citado nas páginas 24 e 55.
- EZENDAM, D.; BONGERS, R. M.; JANNINK, M. J. Systematic review of the effectiveness of mirror therapy in upper extremity function. **Disability and rehabilitation**, Taylor & Francis, v. 31, n. 26, p. 2135–2149, 2009. Citado na página 30.
- FEINTUCH, U.; TUCHNER, M.; LORBER-HADDAD, A.; MEINER, Z.; SHIRI, S. Virhab-a virtual reality system for treatment of chronic pain and disability. In: IEEE. **Virtual Rehabilitation International Conference, 2009**. [S.l.], 2009. p. 83–86. Citado na página 39.
- GAO, W.; DUAN, L.-Y.; SUN, J.; YUAN, J.; WEN, Y.; TAN, Y.-P.; CAI, J.; KOT, A. C. Mobile media communication, processing, and analysis: a review of recent advances. In: IEEE. **Circuits and Systems (ISCAS), 2013 IEEE International Symposium on**. [S.l.], 2013. p. 869–872. Citado na página 32.
- GOOGLE. **Android**. 2014. Disponível em: <https://www.android.com/intl/pt-BR{_}>. Citado na página 32.
- _____. **Google Cardboard**. 2016. Disponível em: <<https://www.google.com/get/cardboard/>>. Citado nas páginas 33 e 34.
- GRÜNERT-PLÜSS, N.; HUFSCHEMID, U.; SANTSCHI, L.; GRÜNERT, J. Mirror therapy in hand rehabilitation: a review of the literature, the St Gallen protocol for mirror therapy and evaluation of a case series of 52 patients. **The British Journal of Hand Therapy**, SAGE Publications, v. 13, n. 1, p. 4–11, 2008. Citado nas páginas 23, 24, 25, 29, 30, 31, 43, 45, 46 e 56.
- HALLAM, J. Haptic mirror therapy glove: aiding the treatment of a paretic limb after a stroke. In: ACM. **Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers**. [S.l.], 2015. p. 459–464. Citado nas páginas 15, 41 e 42.
- HAVELKA, S. Mobile resources for nursing students and nursing faculty. **Journal of Electronic Resources in Medical Libraries**, Taylor & Francis, v. 8, n. 2, p. 194–199, 2011. Citado na página 23.
- HOERMANN, S.; SANTOS, L.; MORKISCH, N.; JETTKOWSKI, K.; SILLIS, M.; CUTFIELD, N.; SCHMIDT, H.; HALE, L.; KRUGER, J.; REGENBRECHT, H. *et al.* Computerized mirror therapy with augmented reflection technology for stroke rehabilitation: A feasibility study in a rehabilitation center. In: IEEE. **Virtual Rehabilitation Proceedings (ICVR), 2015 International Conference on**. [S.l.], 2015. p. 199–206. Citado nas páginas 15 e 40.

IDC. **Smartphone OS Market Share, 2015 Q2**. 2015. Disponível em: <<http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>>. Citado na página 32.

IDC Brasil. **Estudo da IDC Brasil aponta que, em 2014, brasileiros compraram cerca de 104 smartphones por minuto**. 2015. Disponível em: <<http://br.idclatin.com/releases/news.aspx?id=1801>>. Citado na página 32.

INTILLE, S.; HAYNES, C.; MANIAR, D.; PONNADA, A.; MANJOURIDES, J. μ EMA: Microinteraction-based Ecological Momentary Assessment (EMA) Using a Smartwatch. In: **Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing**. New York, NY, USA: ACM, 2016. (UbiComp '16), p. 1124–1128. ISBN 978-1-4503-4461-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2971648.2971717>>. Citado na página 34.

KANG, Y. J.; PARK, H. K.; KIM, H. J.; LIM, T.; KU, J.; CHO, S.; KIM, S. I.; PARK, E. S. Upper extremity rehabilitation of stroke: facilitation of corticospinal excitability using virtual mirror paradigm. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, BioMed Central, v. 9, n. 1, p. 1, 2012. Citado nas páginas 37 e 43.

KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada. In: **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações**. Petrópolis, RJ: SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2007. cap. 1, p. 02—21. ISBN 8576691086. Citado na página 31.

KREVELEN, D. V.; POELMAN, R. A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. **International Journal of Virtual Reality**, v. 9, n. 2, p. 1, 2010. Citado na página 59.

LARSON, R. W. Adolescents' daily experience with family and friends: Contrasting opportunity systems. **Journal of Marriage and Family**, [Wiley, National Council on Family Relations], v. 45, n. 4, p. 739–750, 1983. ISSN 00222445, 17413737. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/351787>>. Citado nas páginas 25 e 34.

LEE, H.-M.; LI, P.-C.; FAN, S.-C. Delayed mirror visual feedback presented using a novel mirror therapy system enhances cortical activation in healthy adults. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, BioMed Central, v. 12, n. 1, p. 1, 2015. Citado nas páginas 15, 40 e 41.

MOSELEY, G. L. Graded motor imagery for pathologic pain: A randomized controlled trial. **Neurology**, v. 67, n. 12, p. 2129–2134, 2006. Disponível em: <<http://www.neurology.org/content/67/12/2129.abstract>>. Citado na página 30.

MOSELEY, L. G.; GALLACE, A.; SPENCE, C. Is mirror therapy all it is cracked up to be? current evidence and future directions. **Pain**, LWJ, v. 138, n. 1, p. 7–10, 2008. Citado na página 30.

NARANG, G.; NARANG, A.; SINGH, S.; LEMPIAINEN, J. Use of unobtrusive human-machine interface for rehabilitation of stroke victims through robot assisted mirror therapy. In: IEEE. **Technologies for Practical Robot Applications (TePRA), 2013 IEEE International Conference on**. [S.l.], 2013. p. 1–6. Citado na página 41.

NEUBECK, L.; LOWRES, N.; BENJAMIN, E. J.; FREEDMAN, S. B.; COOREY, G.; REDFERN, J. The mobile revolution [mdash] using smartphone apps to prevent cardiovascular disease. **Nature Reviews Cardiology**, Nature Publishing Group, v. 12, n. 6, p. 350–360, 2015. Citado na página 23.

NIELSEN, J.; MOLICH, R. Heuristic evaluation of user interfaces. In: ACM. **Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems**. [S.l.], 1990. p. 249–256. Citado na página 75.

OOUCHIDA, Y.; IZUMI, S.-I. Imitation movement reduces the phantom limb pain caused by the abnormality of body schema. In: IEEE. **Complex Medical Engineering (CME), 2012 ICME International Conference on**. [S.l.], 2012. p. 53–55. Citado nas páginas 38 e 43.

PALMKE, M.; PIEKARTZ, H. V.; ZALPOUR, C.; SCHULER, T.; MORISSE, K. A new perspective for virtual mirror therapy developing a low-cost-high-convenient environment utilising the wiimote. In: **2009 Virtual Rehabilitation International Conference**. [S.l.: s.n.], 2009. Citado na página 41.

RAMACHANDRAN, V.; ALTSCHULER, E.; STONE, L.; AL-ABOUDI, M.; SCHWARTZ, E.; SIVA, N. Can mirrors alleviate visual hemineglect? **Medical hypotheses**, Elsevier, v. 52, n. 4, p. 303–305, 1999. Citado na página 30.

RAMACHANDRAN, V. S.; ROGERS-RAMACHANDRAN, D. Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, The Royal Society, v. 263, n. 1369, p. 377–386, 1996. Citado nas páginas 23 e 29.

_____. Phantom limbs and neural plasticity. **Archives of neurology**, American Medical Association, v. 57, n. 3, p. 317–320, 2000. Citado na página 30.

RINDERKNECHT, M. D.; KIM, Y.; SANTOS-CARRERAS, L.; BLEULER, H.; GASSERT, R. Combined tendon vibration and virtual reality for post-stroke hand rehabilitation. In: IEEE. **World Haptics Conference (WHC), 2013**. [S.l.], 2013. p. 277–282. Citado nas páginas 15, 39 e 40.

ROGERS, Y.; SHARP, H.; PREECE, J. **O Processo de Design de Interação**. 3 ed.. ed. Porto Alegre, RS: Bookman Editora, 2013. 317—351 p. Citado nas páginas 15 e 59.

SHIFFMAN, S.; STONE, A. A.; HUFFORD, M. R. Ecological momentary assessment. **Annu. Rev. Clin. Psychol.**, Annual Reviews, v. 4, p. 1–32, 2008. Citado na página 34.

SWENDEMAN, D.; COMULADA, W.; RAMANATHAN, N.; LAZAR, M.; ESTRIN, D. Reliability and validity of daily self-monitoring by smartphone application for health-related quality-of-life, antiretroviral adherence, substance use, and sexual behaviors among people living with hiv. **AIDS and Behavior**, v. 19, n. 2, p. 330–340, 2015. ISSN 1090-7165. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10461-014-0923-8>>. Citado na página 34.

The Nielsen Company. **68 MILHÕES USAM A INTERNET PELO SMARTPHONE NO BRASIL**. 2015. Disponível em: <<http://www.nielsen.com/br/pt/press-room/2015/68-milhoes-usam-a-internet-pelo-smartphone-no-Brasil.html>>. Citado na página 32.

The Statistics Portal. **Number of mobile phone users worldwide from 2013 to 2019 (in billions)**. 2015. Disponível em: <<http://www.statista.com/statistics/274774/forecast-of-mobile-phone-users-worldwide/>>. Citado na página 32.

TROJAN, J.; DIERS, M.; FUCHS, X.; BACH, F.; BEKRATER-BODMANN, R.; FOELL, J.; KAMPING, S.; RANCE, M.; MAASS, H.; FLOR, H. An augmented reality home-training system based on the mirror training and imagery approach. **Behavior research methods**, Springer, v. 46, n. 3, p. 634–640, 2014. Citado nas páginas 15, 37, 38 e 43.

- VARDELL, E.; BOU-CRICK, C. Visualdx: a visual diagnostic decision support tool. **Medical reference services quarterly**, Taylor & Francis, v. 31, n. 4, p. 414–424, 2012. Citado na página [23](#).
- WANG, W.-W.; FU, L.-C. Mirror therapy with an exoskeleton upper-limb robot based on imu measurement system. In: IEEE. **Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), 2011 IEEE International Workshop on**. [S.l.], 2011. p. 370–375. Citado na página [41](#).
- WEISER, M. Some computer science issues in ubiquitous computing. **Communications of the ACM**, ACM, v. 36, n. 7, p. 75–84, 1993. Citado na página [25](#).
- WU, H.; LIU, J.; HANDROOS, H.; MIRAFTABI, B.; HEINONEN, A.; PEURALA, S.; TARKKA, I.; ROSSI, M.; NOUSIAINEN, S. Virtual reality based robotic therapy for stroke rehabilitation: An initial study. In: IEEE. **Mechatronics and Automation (ICMA), 2011 International Conference on**. [S.l.], 2011. p. 1196–1200. Citado na página [41](#).
- YOO, S.; PARKER, C. Controller-less interaction methods for google cardboard. In: ACM. **Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Spatial User Interaction**. [S.l.], 2015. p. 127–127. Citado na página [33](#).
- YUE, Z.; LITT, E.; CAI, C. J.; STERN, J.; BAXTER, K. K.; GUAN, Z.; SHARMA, N.; ZHANG, G. G. Photographing information needs: the role of photos in experience sampling method-style research. In: ACM. **Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems**. [S.l.], 2014. p. 1545–1554. Citado na página [35](#).
- ZAINE, I.; RODRIGUES, K. R.; CUNHA, B. C. da; VIEL, C. C.; ORLANDO, A. F.; NETO, O. J. M.; MAGAGNATTO, Y.; PIMENTEL, M. d. G. C. ESPIM: An Ubiquitous Data Collection and Programmed Intervention System using ESM and Mobile Devices. In: ACM. **Proceedings of the 22nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web**. [S.l.], 2016. p. 13–14. Citado nas páginas [26](#), [35](#), [45](#) e [50](#).

