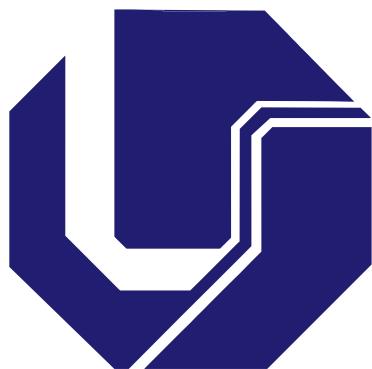


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



**HARPYGAME: UM JOGO SÉRIO CUSTOMIZÁVEL COM
INTERFACE MULTIMODAL PARA REABILITAÇÃO DE
INDIVÍDUOS PÓS-AVE**

Gabriel Fernandes Cyrino

Março
2019

GABRIEL FERNANDES CYRINO

**HARPYGAME: UM JOGO SÉRIO CUSTOMIZÁVEL COM
INTERFACE MULTIMODAL PARA REABILITAÇÃO DE
INDIVÍDUOS PÓS-AVE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Banca Examinadora:

Prof. Edgard A. Lamounier Jr, PhD – Orientador (UFU)
Prof. Alcimar B. Soares, PhD. – Coorientador (UFU)
Prof. Eduardo L. M. Naves, Dr. (UFU)
Prof.^a Fátima L. S. Nunes, Dr.^a (USP)

Uberlândia
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

C997h
2019

Cyrino, Gabriel Fernandes, 1993

Harpygame [recurso eletrônico] : um jogo sério customizável com interface multimodal para reabilitação de indivíduos pós-AVE / Gabriel Fernandes Cyrino. - 2019.

Orientador: Edgard Afonso Lamounier Júnior.

Coorientador: Alcimar Barbosa Soares.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.1286>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Engenharia elétrica. 2. Acidente vascular cerebral. 3. Computação gráfica. 4. Reabilitação do acidente vascular cerebral. 5. Realidade virtual. I. Lamounier Júnior, Edgard Afonso, 1964, (Orient.). II. Soares, Alcimar Barbosa, 1965, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDU: 621.3

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

GABRIEL FERNANDES CYRINO

**HARPYGAME: UM JOGO SÉRIO CUSTOMIZÁVEL COM
INTERFACE MULTIMODAL PARA REABILITAÇÃO DE
INDIVÍDUOS PÓS-AVE**

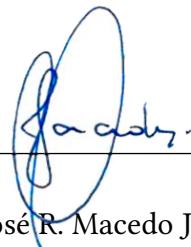
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.



Prof. Edgard A. Lamounier Jr, PhD.
Orientador



Prof. Alcimar B. Soares, PhD.
Coorientador



Prof. José R. Macedo Jr, Dr.
Coordenador do curso de Pós-Graduação

Uberlândia
2019

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pela saúde, sabedoria, fé e oportunidades que me foram concedidas.

Aos meus pais, pelo exemplo, pelo incentivo e pelo apoio proporcionado em todas as etapas de minha vida.

Ao Professor Edgard Lamounier, pelas sábias orientações, oportunidades e ensinamentos, sendo um grande instrutor, companheiro e amigo.

Aos Professores Alcimar Barbosa e Alexandre Cardoso, pela confiança, apoio e conselhos durante todo o decorrer do mestrado.

Agradeço aos meus amigos Leandro Mattioli, Júlia Tannús e Isabela Marques pela grande contribuição durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais colegas do Grupo de Realidade Virtual e Aumentada (GRVA) e do Núcleo de Tecnologia Assistiva (NTA) pelo companheirismo, apoio e profissionalismo.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro concedido no âmbito do projeto.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, pelo excelente serviço prestado.

E a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Resumo

CYRINO, Gabriel F. HarpyGame: Um Jogo Sério Customizável com Interface Multimodal para Reabilitação de Indivíduos Pós-AVE. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU. Uberlândia, 2019.

O Acidente Vascular Encefálico (AVE) é a doença mais comum que leva ao comprometimento da destreza dos membros superiores. Para proporcionar uma melhor qualidade de vida, os pacientes devem se submeter a recursos terapêuticos que se concentram no ganho de atividade muscular. De fato, a reabilitação deve ser precoce, intensiva e repetitiva, o que leva ao desafio de como manter a motivação e dedicação do paciente. A Realidade Virtual e os jogos sérios têm emergido como alternativas mais vantajosas e agradáveis de tratamento na reabilitação, quando comparadas às terapias tradicionais. Porém, a maioria dos jogos sérios se limitam a simples ambientes 2D ou ambientes 3D de baixa qualidade gráfica, o que pode afetar o interesse e o engajamento do paciente. Além disso, em muitos desses jogos, não é possível adaptar as tarefas de reabilitação, de acordo com o estágio clínico do paciente. Assim, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um jogo sério customizável, baseado em técnicas de Realidade Virtual, controlado por diferentes dispositivos de entrada. Para isso, foi desenvolvido um sistema composto por quatro camadas intercomunicáveis: 1) Um painel de controle, responsável pelo controle e customização do jogo, registro de pacientes e geração de relatórios comparativos; 2) O jogo sério, que apresenta um ambiente com gráficos realistas, contendo níveis e tarefas adaptáveis; 3) Um banco de dados, que mantém informações como perfil dos pacientes, configurações do jogo, objetivos e desafios alcançados; 4) Uma interface multimodal que permite o uso de dispositivos de entrada como Myo, Joysticks e uma plataforma de suporte assistido, a fim de proporcionar a adequação de diferentes perfis de pacientes no jogo. A pesquisa considerou o auxílio de profissionais que atuam na área da reabilitação para o fornecimento dos protocolos que o jogo seguiu. Os resultados revelaram uma aceitação significativa dos pacientes, o que mostra o potencial do sistema para uso no processo de reabilitação pós-AVE dos membros superiores.

Palavras-chave: Acidente Vascular Encefálico, Realidade Virtual, Jogo Sério, Reabilitação Motora.

Abstract

CYRINO, Gabriel F. HarpyGame: A Customizable Serious Game with Multimodal Interface for Upper Limb Rehabilitation after Stroke. Masters Dissertation – Faculty of Electrical Engineering – UFU. Uberlândia, 2019.

Stroke is the most common disease that leads to the dexterity impairment of the upper limbs. To provide a better quality of life, patients must submit to therapeutic resources that focus on the gain of muscle activity. In fact, rehabilitation must be precocious, intensive and repetitive, which leads to the challenge of how to maintain patient motivation and dedication. In this context, serious games have emerged as an advantageous and enjoyable alternative to rehabilitation treatment, when compared to traditional therapies. However, most serious games are limited to simple 2D environments or low-quality 3D environments, which can affect patient interest and engagement. Moreover, in many of these games, it is not possible to adapt the rehabilitation tasks, according to the patient clinical stage. Thus, this work presents the development of a customizable serious game, based on Virtual Reality techniques to achieve a more natural and intuitive interface. Besides, since each patient has his own limitation, the game was developed to allow different types of input devices. In so doing, the system was designed considering four intercommunicable layers: 1) A control panel, responsible for the control and customization of the game, registration of patients and generation of comparative reports; 2) A serious game that presents an environment with realistic graphics, containing levels and adaptive tasks; 3) A database that maintains information such as patient profiles, game settings, goals and challenges achieved; 4) And a multimodal interface that allows the use of input devices such as Myo, Joysticks and an assisted support platform in order to provide the suitability of different patient profiles in the game. The research considered the assistance of physiotherapists to provide protocols that the game followed. Results indicated significant acceptance by the patients, implying the system's potential use in the post-stroke rehabilitation process of the upper limbs.

Keywords: Stroke, Virtual Reality, Serious Game, Motor Rehabilitation.

Publicações

As publicações resultantes deste trabalho são apresentadas a seguir:

CYRINO, Gabriel F.; TANNÚS, Júlia S.; LAMOUNIER, Edgard A. et al. Jogo Sério com Realidade Virtual para Reabilitação de Indivíduos pós AVC. In: XX Symposium on Virtual and Augmented Reality. Foz do Iguaçu PR: [s.n.], 2018.

CYRINO, Gabriel F.; TANNÚS, Júlia S.; MARQUES, Isabela A. et al. HarpyGame: A Customizable Serious Game with Multimodal Interface for Upper Limb Rehabilitation after Stroke. In: 10TH International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Washington D.C. USA: Springer International Publishing, 2019.

TANNÚS, Júlia S. et al. Técnicas de Modelagem Geométrica e Comportamental na Construção de um Ambiente Virtual para Reabilitação de Pacientes Pós-AVC por Meio de um Jogo Sério. In: XX Symposium on Virtual and Augmented Reality. Foz do Iguaçu PR: [s.n.], 2018.

Listas de Figuras

2.1	AVE isquêmico e hemorrágico.	6
2.2	Jogos sérios na interseção de aprendizado, jogos e simulação.	11
3.1	Estrutura do <i>framework</i> desenvolvido.	18
3.2	Jogo sério para captura de laranjas virtuais.	19
3.3	Tela do cenário do jogo.	20
3.4	Um dos jogos sério desenvolvidos.	21
3.5	Diagrama das camadas propostas no sistema.	23
3.6	Tela do cenário do jogo.	24
3.7	Sistema de simulação desenvolvido.	25
3.8	Algumas tarefas possíveis durante a execução do jogo sério.	26
3.9	Tela de seleção de atividades.	27
4.1	Modelo de Casos de Uso.	32
4.2	Arquitetura do sistema <i>HarpyGame</i>	34
4.3	DER do sistema <i>HarpyGame</i> – Gerenciamento de usuários.	36
4.4	DER do sistema <i>HarpyGame</i> – Persistência do jogo.	37
4.5	Módulos da execução do sistema.	39
4.6	Cenário do jogo construído.	41
4.7	Modelos 3D dos animais presentes no cenário.	42
4.8	Protótipo da plataforma de suporte assistido.	44
4.9	Módulos da comunicação com a plataforma.	45
4.10	Tela para gerenciamento de pacientes – Dados pessoais.	46
4.11	Tela para gerenciamento de pacientes – Dados clínicos.	47

4.12	Tela para gerenciamento de terapeutas.	47
4.13	Tela para gerenciamento das configurações gerais.	48
4.14	Tela principal do painel de controle no modo “Configurado pelo Terapeuta”. .	50
4.15	Tutorial interativo em execução.	51
4.16	Configuração de objetivos no painel de controle (Nível 1).	51
4.17	Execução dos objetivos – Harpia passando pelos anéis (Nível 1).	52
4.18	Interação com os crocodilos no nível 2.	53
4.19	Configuração de objetivos no painel de controle (Nível 2).	53
4.20	Execução dos objetivos – Harpia capturando peixes no lago (Nível 2).	54
4.21	Setas apontando a localização dos peixes no nível 2.	54
4.22	Configuração de objetivos no painel de controle (Nível 3).	55
4.23	Execução dos objetivos – Harpia se aproximando de um pedaço de carne e um tigre próximo (Nível 3).	56
4.24	Carne indicada com realce facilitando sua localização.	56
4.25	Configuração de objetivos no painel de controle (Nível 4).	57
4.26	Execução dos objetivos – Harpia se aproximando de um galho para capturá-lo. Os realces dos galhos são alaranjados para diferenciar os galhos das carnes (Nível 4). .	57
4.27	Configuração de objetivos no painel de controle (Nível 5).	58
4.28	Execução dos objetivos – Harpia procurando por alimentos. Ao fundo, a árvore indicada em amarelo (Nível 5).	59
5.1	Jogo sendo controlado através do <i>Myo</i>	65
6.1	Desafios Superados.	68
6.2	Tempo para conclusão dos níveis.	72
6.3	Exemplo de trajetória da Harpia.	73
6.4	Comparação da trajetória da Harpia (visão de cima).	74
6.5	Comparação da trajetória da Harpia (visão de cima).	75

Lista de Tabelas

3.1	Comparação entre os trabalhos relacionados.	28
5.1	Características gerais dos participantes da pesquisa.	61
5.2	Parâmetros modificados ao longo do treinamento.	63
6.1	Modificação de parâmetros por sessão – Paciente A.	69
6.2	Modificação de parâmetros por sessão – Paciente B.	69
6.3	Modificação de parâmetros por sessão – Paciente C.	69
6.4	Modificação de parâmetros por sessão – Paciente D.	70
6.5	Modificação de parâmetros por sessão – Paciente E.	70
6.6	Modificação de parâmetros por sessão – Paciente F.	70
6.7	Estatísticas de desempenhos dos pacientes no nível 1.	76
6.8	Estatísticas de desempenhos dos pacientes no nível 2.	76
6.9	Estatísticas de desempenhos dos pacientes no nível 3.	76
6.10	Resultados do SUS.	78
6.11	QAAV – Análise da Motivação.	79
6.12	QAAV – Análise da Experiência do Usuário.	80

Lista de Abreviaturas

AVC	Acidente Vascular Cerebral
AVE	Acidente Vascular Encefálico
DER	Diagrama de Entidade de Relacionamento
FPS	Quadros por Segundo (Frames per Second)
HMD	Head Mounted Display
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado (Integrated Development Environment)
IHC	Interface Humano-Computador
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NUI	Interface Natural de Usuário (Natural User Interface)
OMS	Organização Mundial da Saúde
QAAV	Questionário de Avaliação de Ambientes Virtuais
RV	Realidade Virtual
SUS	Questionário de Usabilidade do Sistema

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação e Contextualização	1
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivo Principal	3
1.2.2	Objetivos Específicos	3
1.3	Organização da Dissertação	4
2	Fundamentação Teórica	5
2.1	Introdução	5
2.2	Acidente Vascular Encefálico (AVE)	5
2.2.1	Incapacidade Funcional e Alterações Motoras	6
2.2.2	Reabilitação Pós-AVE	7
2.3	Realidade Virtual	9
2.4	Jogos Sérios	9
2.5	Realidade Virtual e Jogos Sérios Aplicados ao Processo de Reabilitação	12
2.6	Sistemas Interativos e Interfaces Humano-Computador	13
2.7	Considerações Finais	15
3	Trabalhos Relacionados	16
3.1	Introdução	16
3.2	Jogos Sérios para Terapia de Reabilitação pós-AVE	17
3.3	Jogo Customizável para Reabilitação pós-AVE Assistido por Robô	19
3.4	Plataforma de Jogos Sérios para Auxílio na Fisioterapia e Reabilitação Motora	21

3.5	Reabilitação Motora por meio do Desenvolvimento de Ambientes Virtuais Customizáveis	22
3.6	Simulador em RV para Auxílio na Reabilitação pós-AVE	24
3.7	Jogo Sério Customizável Aplicado à Reabilitação Física	26
3.8	Considerações Finais	28
4	Modelagem e Desenvolvimento do Sistema	30
4.1	Introdução	30
4.2	Especificação de Requisitos	30
4.2.1	Requisitos Funcionais	30
4.2.2	Requisitos Não Funcionais	31
4.2.3	Modelo de Casos de Uso	32
4.3	Arquitetura do Sistema	34
4.3.1	Esquema do Banco de Dados	35
4.3.2	Dinâmica da Execução do Sistema	38
4.4	Desenvolvimento do Sistema	40
4.4.1	Captura de Movimentos	42
4.4.2	Gerenciamento de Usuários e Configurações Gerais	46
4.4.3	Níveis e Desafios	49
4.5	Considerações Finais	59
5	Metodologia de Avaliação do Sistema	60
5.1	Introdução	60
5.2	Metodologia dos Testes	60
5.2.1	Protocolo de Treinamento	62
5.2.2	Definição dos Métodos de Avaliação	63
5.2.3	Execução do Treinamento	64
5.3	Considerações Finais	66
6	Resultados e Discussão	67
6.1	Introdução	67
6.2	Avaliação do Treinamento	67
6.2.1	Trajetória da Harpia	73
6.2.2	Estatísticas de Desempenho dos Pacientes	76

6.3	Questionário de Usabilidade do Sistema (SUS)	77
6.4	Questionário de Avaliação de Ambientes Virtuais	78
6.5	Considerações Finais	81
7	Conclusões e Trabalhos Futuros	82
7.1	Conclusões	82
7.2	Trabalhos Futuros	83

Introdução

1.1 Motivação e Contextualização

O Acidente Vascular Encefálico (AVE), também conhecido como Acidente Vascular Cerebral (AVC), é uma síndrome neurológica complexa envolvendo anormalidade usualmente súbita do funcionamento cerebral, decorrente de uma hemorragia ou de uma interrupção da circulação cerebral (NATIONAL INSTITUTE OF NEUROLOGICAL DISORDERS AND STROKE, 1995). Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), o AVE é a segunda principal causa de morte no mundo, sendo a principal causa no Brasil, ocorrendo predominantemente em adultos de meia idade e idosos (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE, 2017). Pode-se dizer que um em cada seis indivíduos no mundo terá um AVE ao longo de seu curso de vida (LINDSAY et al., 2014).

A incapacidade funcional é uma das sequelas mais comuns em decorrência do AVE, aliada à diminuição da função cognitiva (NUNES; PEREIRA; GOMES DA SILVA, 2005). Em particular, a alteração das funções dos membros superiores é uma das maiores queixas referidas pelos pacientes (SALIBA et al., 2017). De fato, estudos mostram que cerca de 66% dos sobreviventes de um AVE terão seus membros superiores enfraquecidos e disfuncionais (BUR et al., 2010).

As formas mais comuns de programas terapêuticos pós-AVE consistem em o paciente realizar movimentos repetitivos sob a supervisão de um terapeuta em várias sessões individuais (LANGHORNE, Peter; COUPAR; POLLOCK, 2009). Entretanto, essas abordagens tradicionais tendem a ser mais cansativas e menos intuitivas, podendo atrasar ou dificultar o processo de reabilitação, além de causar frustração no paciente (LEVIN; WEISS; KESHNER, 2015).

Uma alternativa cada vez mais promissora para este contexto são os jogos sérios (MA;

OIKONOMOU, 2017). Conhecido como *serious game*, um jogo sério vai além do puro entretenimento como nos videogames, já que oferece outros tipos de experiências, que por sua vez, podem ser direcionadas ao reaprendizado, a reabilitação e ao treinamento de indivíduos (MICHAEL; CHEN, 2006).

De acordo com Blackman (2005) e Mitgutsch e Alvarado (2012), além de oferecerem atividades que favorecem a absorção de conceitos e habilidades psicomotoras, os jogos sérios também utilizam uma abordagem mais atraente e mais lúdica, podendo fazer o uso de roteiros, pontuação, trilha sonora, entre outros elementos.

Por outro lado, em termos de interface computacional, a Realidade Virtual (RV) se destaca como uma interface avançada para aplicações que visam a reabilitação do ser humano (TORI; KIRNER, 2006). Isto porque a RV providencia um ambiente que permite o usuário navegar e interagir, em tempo real, de forma mais natural e intuitiva em aplicações como os jogos sérios (BURDEA GRIGORE; COIFFET, 1994).

A RV e os jogos sérios emergiram como novas abordagens de tratamento na reabilitação do AVE (BURKE et al., 2009). Abordagens como essas, podem ser mais vantajosas pelo fato de proporcionarem a oportunidade de praticar atividades que são consideradas impossíveis de serem praticadas dentro do ambiente clínico. Além disso, os programas de treinamento em RV são projetados para serem mais interessantes e agradáveis com relação as tarefas tradicionais de terapia, incentivando, assim, um melhor resultado na reabilitação (LAVER et al., 2015).

Entretanto, nenhum dos jogos sérios encontrados nesta pesquisa, apresentam ambientes tridimensionais com alta fidelidade de elementos gráficos e riqueza de detalhes, o que pode desmotivar o paciente e prejudicar sua imersão e interesse no jogo (BLACKMAN, 2005; MITGUTSCH; ALVARADO, 2012).

Outra característica não encontrada nos jogos sérios é a facilidade de personalização da experiência no tratamento, ou seja, a possibilidade de serem amplamente adaptáveis a cada perfil de reabilitação dos pacientes (HOCINE; GOUAICH, 2011).

A presença de tais aspectos pode resultar na apresentação de melhores resultados no treinamento com jogos sérios, contribuindo para uma melhor adaptação e satisfação do paciente.

Sob tais considerações, esse trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema, composto por um jogo sério customizável, controlado por diferentes dispositivos de entrada por meio de uma interface multimodal, a fim de proporcionar a adequação de diferentes perfis de pacientes. O jogo sério consiste em um ambiente virtual com alto nível de qualidade gráfica,

onde o paciente deve controlar uma Harpia utilizando o posicionamento de seu braço. O cenário é composto por uma floresta, contendo uma série de objetivos e desafios a serem cumpridos pelo paciente, que vão desde desviar de obstáculos a capturar alimentos.

Além do jogo, o sistema conta com um painel de controle, onde o terapeuta pode gerenciar os níveis do jogo e customizar os objetivos, além de cadastrar pacientes e gerar relatórios comparativos. Uma interface multimodal também foi desenvolvida, cujo propósito é permitir o uso de múltiplos dispositivos de entrada como *joysticks*, um bracelete com acelerômetro e uma plataforma de suporte assistido.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Principal

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um sistema de treinamento virtual composto por um jogo sério, baseado em técnicas de Realidade Virtual e avaliar a aceitação desse sistema por pacientes com paresia nos membros superiores decorrentes de um AVE. Além disso, pretende-se avaliar a adequabilidade do sistema desenvolvido como uma ferramenta de apoio em processos de reabilitação, além de auxiliar os terapeutas na definição de protocolos de reabilitação mais específicos para cada paciente.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, as seguintes etapas foram seguidas:

- levantar e analisar os requisitos para o desenvolvimento do sistema;
- avaliar os métodos de treinamento utilizados em abordagens tradicionais de programas terapêuticos pós-AVE e definir objetivos para compor o jogo sério;
- propor uma arquitetura para a interação entre os usuários e a aplicação que permita tanto a definição de protocolos pelo terapeuta, quanto a realização dos mesmos pelo paciente;
- desenvolver um ambiente virtual baseado em técnicas de modelagem realista e desempenho balanceado;

- implementar o painel de controle, permitindo o gerenciamento e a customização do jogo sério;
- implementar uma interface que permita o controle e interação com o jogo por meio de diferentes *inputs*;
- definir um protocolo experimental, juntamente com um terapeuta, para aplicação no ambiente virtual e no sistema de treinamento proposto;
- definir uma metodologia para execução e avaliação dos testes e do protocolo de treinamento;
- realizar um teste piloto em voluntários pós-AVE, baseado no protocolo definido no item anterior, para verificar o potencial e a aplicabilidade do sistema ao seu propósito;
- analisar os resultados obtidos na avaliação do sistema, com o intuito de validar a metodologia de testes proposta e o protocolo utilizado.

1.3 Organização da Dissertação

No Capítulo 2, os fundamentos teóricos dos principais temas associados ao trabalho e à aplicação são apresentados.

O Capítulo 3 apresenta o estado da arte referente às principais pesquisas e aplicações desenvolvidas que fazem o uso da Realidade Virtual e dos jogos sérios no processo de reabilitação.

No Capítulo 4, a modelagem e a arquitetura da solução implementada é detalhada, apresentando os estágios seguidos no desenvolvimento do sistema.

No Capítulo 5, é apresentada a metodologia adotada na avaliação do sistema, compondo os testes e o protocolo de treinamento.

O Capítulo 6 a análise dos resultados da avaliação e os métodos avaliativos aplicados no treinamento são discutidos.

Finalmente, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais e perspectivas de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Introdução

Este capítulo tem o intuito de fornecer o entendimento de conceitos abordados ao longo da dissertação. Em sua excência, o texto trata de tópicos relacionados ao Acidente Vascular Encefálico, a incapacidade funcional e a reabilitação. Logo após, são abordados conceitos de Realidade Virtual, jogos sérios e Interface Humano-Computador, contextualizando o impacto da utilização dessas tecnologias no âmbito da reabilitação.

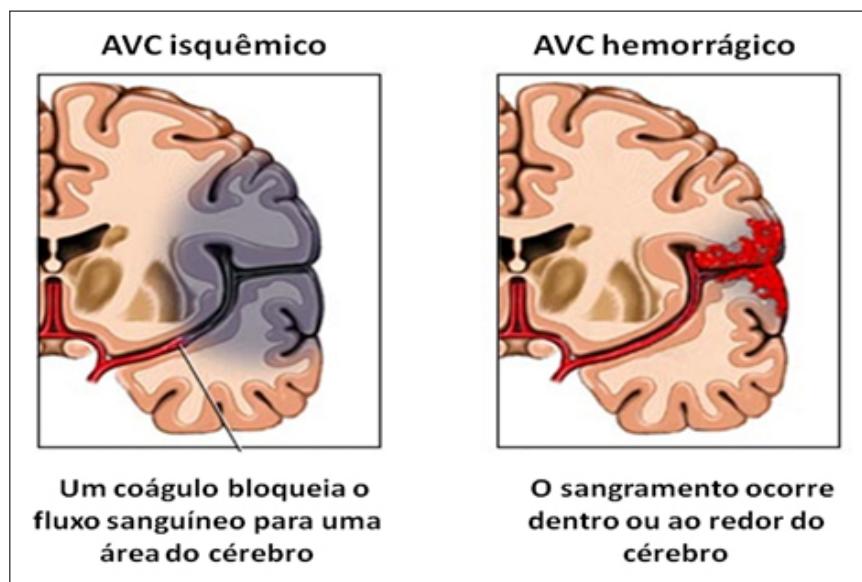
2.2 Acidente Vascular Encefálico (AVE)

Também conhecido como Acidente Vascular Cerebral (AVC), o AVE é uma das principais causas de morte e incapacidade em todo o mundo. Segundo dados da *World Stroke Organization* (Organização Mundial de AVE), um em cada seis indivíduos no mundo terá um AVE ao longo de seu curso de vida (LINDSAY et al., 2014).

De acordo com a Sociedade Brasileira de Doenças Cerebrovasculares - SBDCV (2018), um AVE ocorre quando problemas na irrigação sanguínea cerebral causam a morte das células, acarretando em mal funcionamento de partes do cérebro. Já Warlow et al. (2008) elucida o AVE como uma síndrome clínica caracterizada pela perda aguda de função cerebral localizada ou global, com os sintomas durando por mais de 24 horas ou levando à morte. Tais sintomas podem ser causados tanto por hemorragia espontânea no cérebro, ou devido à baixa pressão sanguínea, trombose ou embolismo, associados a doenças dos vasos sanguíneos, cardíacas, ou sanguíneas (WARLOW et al., 2008).

Existem dois tipos de AVE, o isquêmico e o hemorrágico. O AVE isquêmico é o mais comum e ocorre quando há obstrução de um vaso sanguíneo, bloqueando o seu fluxo para as células cerebrais. Já o AVE hemorrágico resulta da ruptura de um vaso sanguíneo dentro do crânio, ocasionando irritação e formação de coágulo no tecido nervoso (SOCIEDADE BRASILEIRA DE DOENÇAS CEREBROVASCULARES - SBDCV, 2018), como mostra a Figura 2.1. Segundo Ovbiagele e Nguyen-Huynh (2011), o AVE isquêmico representa aproximadamente 87% de todos os casos da síndrome, enquanto o AVE hemorrágico é responsável por 13%, em média.

Figura 2.1: AVE isquêmico e hemorrágico.



Fonte: (SOCIEDADE BRASILEIRA DE DOENÇAS CEREBROVASCULARES - SBDCV, 2018)

A interrupção do fluxo sanguíneo causa danos celulares irreversíveis, e em poucos minutos, na região cerebral onde ocorreu o AVE. A zona de transição ao redor desse centro é denominada área de penumbra, e nela as células continuam viáveis, porém metabolicamente lentas, por um período de 3 a 4 horas. Normalmente, após esse período, as células na zona de penumbra apresentam danos irreversíveis (O'SULLIVAN; SCHMITZ, 2010).

2.2.1 Incapacidade Funcional e Alterações Motoras

A incapacidade funcional ocorre quando há perda ou limitação na mobilidade ou no controle muscular. É uma das sequelas mais comuns em decorrência do AVE, aliada à diminuição da função cognitiva (NUNES; PEREIRA; GOMES DA SILVA, 2005).

Após um evento de AVE, o paciente passa por um período de paralisia flácida, onde não é possível a realização de nenhum movimento dos membros afetados. Num segundo momento,

o paciente experimenta a espasticidade – um aumento involuntário do tônus muscular, caso no qual o paciente se torna incapaz de realizar um movimento isolado de parte de um membro, sem movimentá-lo como um todo. Conforme o processo de recuperação evolui existe um declínio da espasticidade, fazendo com que o indivíduo passe a ter controle de alguns movimentos (BRUNNSTROM, 1970).

Segundo O'sullivan e Schmitz (2010), a espasticidade geralmente ocorre no lado oposto à lesão cerebral. Como consequência, os músculos se tornam tensos, restringindo os movimentos do indivíduo. Os músculos contraídos congelam as articulações da mão e do braço em uma posição anormal e muitas vezes dolorosa, pressionando o cotovelo dobrado e o braço contra o peito. Isso pode interferir seriamente na capacidade do indivíduo em realizar atividades diárias, como vestir-se. Quando um músculo não pode completar a sua gama de movimentos, os tendões e tecidos moles da região afetada podem se tornar endurecidos, o que torna o alongamento muscular muito mais difícil (WORLD STROKE ORGANIZATION, 2018).

As incapacidades motoras mais frequentes em indivíduos com quadro pós-AVE são aquelas que afetam movimentos do rosto e dos membros superiores e inferiores, podendo tomar parte ou até toda a metade do corpo (O'SULLIVAN; SCHMITZ, 2010). Em caso de paralisia total, define-se como hemiplegia. Já a paralisia parcial é denominada hemiparesia. Existem casos em que o cerebelo é afetado, sendo assim, há problemas de equilíbrio ou coordenação (DE JESUS ALVES DA SILVA, 2010). Estima-se que 80% dos sobreviventes apresentam paresia aguda de algum dos membros superiores, e somente um terço deles alcança recuperação funcional (KWAKKEL et al., 2003).

2.2.2 Reabilitação Pós-AVE

A reabilitação pós-AVE é um processo dinâmico, sempre focado em uma meta, cujo objetivo é permitir que o paciente incapacitado atinja sua condição ótima em aspectos físicos, cognitivos, emocionais, comunicativos e sociais (BLACQUIERE et al., 2017).

De modo geral, o tratamento de indivíduos incapacitados são baseados em intervenções terapêuticas tradicionais, cujos os objetivos são a recuperação motora e neurológica com foco na independência funcional e na melhoria da qualidade de vida do paciente (CLAFLIN; KRISHNAN; KHOT, 2015). Ainda nesse contexto, de acordo com Luker et al. (2015), a reabilitação física pós-AVE pode ser definida como intervenções, ambientes de reabilitação, programas e equipamentos que promovam a atividade corporal, tendo como fim a independência na mobi-

lidade e na realização de atividades cotidianas.

As formas mais comuns de programas terapêuticos pós-AVE consistem em o paciente realizar movimentos repetitivos, sob a supervisão de um terapeuta em várias sessões individuais (LANGHORNE, Peter; COUPAR; POLLOCK, 2009). Segundo O'sullivan e Schmitz (2010), a fisioterapia convencional pode ser aplicada em três fases de reabilitação, sendo na fase aguda, na fase pós-aguda e na fase crônica. A fase aguda é executada em até três meses após o episódio de AVE, onde o paciente é submetido a uma reabilitação de baixa intensidade, auxiliando a prevenir ou minimizar possíveis comprometimentos (LANGHORNE, P. et al., 1993). Já na fase pós-aguda, cuja duração vai de três meses a um ano após a incidência, é indicada uma terapia intensiva, que consiste em algumas horas diárias de reabilitação em vários dias da semana. Por fim, na fase crônica, as intervenções objetivam melhorias progressivas no equilíbrio, força, resistência e outras características afetadas, tendo sessões de fisioterapia com menor frequência em relação a fase pós-aguda (O'SULLIVAN; SCHMITZ, 2010).

Segundo os fisioterapeutas, os principais exercícios pós-AVE são aqueles que estimulam o movimento dos punhos e do antebraço, articulação dos joelhos e sola dos pés. O objetivo é avaliar os déficits funcionais e, através de exercícios direcionados, promover padrões motores adequados, melhoria da força, coordenação motora e equilíbrio.

De acordo com Levin, Weiss e Keshner (2015), um dos maiores problemas dos métodos de tratamento fisioterápicos tradicionais é lidar com a falta de motivação do paciente, pois, além da debilidade por motivos fisiológicos, há também o âmbito emotivo da situação. Com a estabilização do quadro de recuperação, o paciente perde o interesse de continuar o tratamento, pois o que lhe é oferecido como opção de atividade resume-se à prática de exercícios de manutenção, o que, muitas vezes, se torna monótono e enfadonho. Isto porque a deficiência já está estabelecida e há muito pouco a se fazer, a não ser evitar o agravamento ou o surgimento de deficiências secundárias (COSTA; DUARTE, 2002). Assim, essas abordagens tradicionais tendem a ser mais cansativas e menos intuitivas, podendo dificultar o processo de reabilitação, além de causar frustração no paciente (LEVIN; WEISS; KESHNER, 2015).

Para contornar este problema, várias alternativas vêm sendo utilizadas, buscando, cada vez mais, um tratamento eficiente, eficaz e até mesmo prazeroso (COSTA; DUARTE, 2002; CLAFLIN; KRISHNAN; KHOT, 2015). O avanço da tecnologia trouxe consigo a oportunidade da aplicação de ferramentas bastante proveitosa, como a Realidade Virtual para o uso medicinal e fisioterápico e os jogos sérios. Essas ferramentas são apresentadas a seguir.

2.3 Realidade Virtual

Pode-se afirmar que a Realidade Virtual (RV) combina programas computacionais, computadores de alto desempenho e periféricos específicos, que permitem a navegação e manipulação em um ambiente tridimensional de aparência realística (CARDOSO; LAMOUNIER, 2008). Em uma definição mais geral, a RV se resume em uma interface avançada para acessar aplicações computacionais, que permite ao usuário a visualização, a movimentação e a interação em tempo real, em um ambiente tridimensional, podendo fazer uso de dispositivos multissensooriais, para atuação ou *feedback* (TORI; KIRNER, 2006). À medida em que a tecnologia e os equipamentos de RV evoluem, são agregadas novas formas de interação que contribuem para uma melhor imersão do usuário no ambiente virtual (CARDOSO; LAMOUNIER, 2008).

TORI e KIRNER (2006) ainda ressaltam que a interação do usuário com o ambiente virtual está relacionada com a capacidade de detecção e reação instantânea de ações do usuário, modificando aspectos da aplicação. A possibilidade de o usuário interagir com um ambiente virtual tridimensional realista em tempo real, observando as cenas serem alteradas como resposta aos seus comandos, torna a interação mais rica e natural, o que propicia maior engajamento e eficiência.

A RV também tem sido explorada com o intuito de apoiar sistemas para tratamento de diferentes sequelas motoras e cognitivas, derivadas de distúrbios ou danos cerebrais. Neste contexto, a fisioterapia e a reabilitação têm experimentado novas formas para ensinar o usuário o modo correto de realizar movimentos, bem como avaliar e reabilitar processos cognitivos como a percepção visual, atenção e memória. Características importantes destes sistemas são o realismo visual e a interação intuitiva, que devem propiciar um bom grau de imersão ao usuário, de modo a permitir maior concentração na tarefa a ser desempenhada (RIBEIRO, 2011).

Nesse contexto, o uso da RV em processos de reabilitação torna-se de grande relevância, visto que é possível simular um ambiente fisioterápico sem expor o paciente a qualquer risco, de modo a desenvolver as habilidades necessárias para tal processo e garantir um ótimo nível de interação com as tarefas a serem realizadas (BURKE et al., 2009; FLUET PHD et al., 2016).

2.4 Jogos Sérios

Existem várias definições para jogos sérios (ou *serious games*), e estas possuem um ponto em comum: o fato de que tais jogos possuem um propósito educacional ou reabilitador explícito

como prioridade, em vez de servir apenas para o divertimento. Isso, porém, não significa que tais jogos não são ou não possam ser uma forma de entretenimento (MA; OIKONOMOU, 2017).

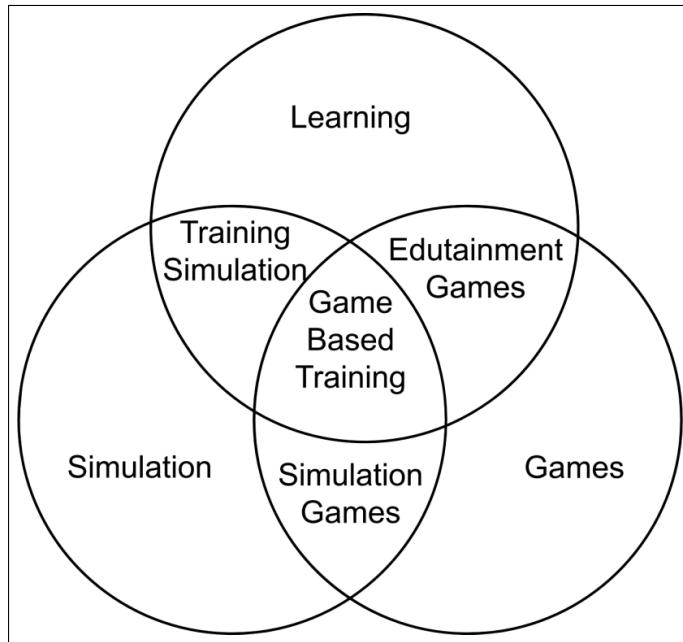
Zyda (2005) define um jogo sério como uma disputa mental, jogado com um computador de acordo com regras específicas, que utiliza o entretenimento para fins de treinamento governamental ou empresarial, educação, saúde, políticas públicas e objetivos estratégicos de comunicação. Essa classe de jogos visa, principalmente, à simulação de situações reais, aplicada ao treinamento de profissionais, assim como o aprendizado para crianças, jovens e adultos. Assim, podem ser utilizados em várias áreas, como a educação, a medicina, a reabilitação, o meio empresarial e a área militar (MA; OIKONOMOU, 2017).

A convergência de jogos com as áreas de simulação e de aprendizado resulta na área de jogos sérios (MACIUSZEK; WEICHT; MARTENS, 2012; MARTENS; DIENER; MALO, 2008), como ilustra a Figura 2.2, onde jogos sérios são representados pelo termo “*Game Based Training*”. Nesta interseção, há mais três composições: jogos de treinamento (*Training Simulation*), jogos educacionais (*Edutainment Games*) e jogos de simulação (*Simulation Games*). Os jogos de treinamento são utilizados para treinar pessoas para diversos assuntos ou atividades (como na área empresarial ou de negócios). Já os jogos educacionais são elaborados especificamente para ensinar pessoas sobre um determinado assunto, expandir conceitos, reforçar desenvolvimento e entendimento sobre um evento histórico ou cultural. Em contrapartida, o papel dos jogos para simulação é reproduzir situações ou condições reais por meio de um sistema da forma mais realista possível (MACIUSZEK; WEICHT; MARTENS, 2012).

Mitgutsch e Alvarado (2012) propõem uma estrutura de avaliação, cujo o objetivo é organizar os diferentes elementos no desenvolvimento de jogos sérios. A proposta é garantir a coesão entre os elementos essenciais do design e a coerência em relação ao objetivo dos jogos. Essa abordagem analítica é composta por seis componentes que devem estar alinhados com o propósito do jogo sério. São eles:

- 1. Propósito do Jogo:** O desenvolvimento do jogo sério deve ser iniciado a partir da definição do seu propósito, definindo o público alvo e encontrando a melhor forma de transmitir o conhecimento e as experiências que o jogo pretende para seus jogadores.
- 2. Conteúdo e Informação:** Se refere a todos os dados e informações presentes no jogo, tais como as estatísticas fornecidas durante e após a conclusão do jogo, a condição e a situação do personagem, o contexto dos elementos presentes no jogo, além de outras informações suplementares.

Figura 2.2: Jogos sérios na interseção de aprendizado, jogos e simulação.



Fonte: (MARTENS; DIENER; MALO, 2008)

3. **Mecânicas:** Se refere às definições das regras que compõem o jogo, ou seja, cada objetivo nas fases, sistema de recompensas, interações, balanceamento de níveis de dificuldade, condição de vitória e derrota, dentre outros.
4. **Ficção e Narrativa:** Contexto fictício que é apresentado ao jogador, a narrativa apresentada através dos personagens, a história, o cenário, a contextualização dos personagens e elementos do jogo.
5. **Estética e Gráficos:** Se refere à linguagem audiovisual que o jogo transmite, como características estéticas, imagens, preferências de estilo, arte e técnicas de computação gráfica escolhidas e desenvolvidas para o jogo.
6. **Enquadramento:** Balanceamento dos elementos referentes ao público alvo, buscando garantir uma ótima experiência do jogador. A partir da junção desses elementos é possível definir uma estrutura que o jogo deve seguir para ser enquadrado na categoria de jogos sérios.

Os jogos sérios, além de oferecerem atividades que favorecem a absorção de conceitos e habilidades psicomotoras, também utilizam uma abordagem mais atraente e mais lúdica, podendo fazer o uso de roteiros, pontuação, trilha sonora, entre outras características. Deste modo, o termo jogo sério passou a ser utilizado para identificar os jogos com um propósito específico,

ou seja, que extrapolam a ideia de entretenimento e oferecem outros tipos de experiências, como aquelas voltadas ao aprendizado e ao treinamento (BLACKMAN, 2005).

2.5 Realidade Virtual e Jogos Sérios Aplicados ao Processo de Reabilitação

A RV e os jogos sérios emergiram como novas abordagens de tratamento na reabilitação do AVE (BURKE et al., 2009). Essas abordagens podem ser vantajosas pois proporcionam a oportunidade de praticar atividades que não são possíveis de serem praticadas dentro do ambiente clínico. Além disso, os programas de treinamento em RV são, frequentemente, projetados para serem mais interessantes e agradáveis do que as tarefas tradicionais de terapia, incentivando assim um maior número de repetições e, consequentemente, um melhor resultado na reabilitação (LAVER et al., 2015).

Vale ressaltar que, como observado em Flores et al. (2008), existem jogos comuns que poderiam ser interessantes aos pacientes, mas com potencial terapêutico pequeno por exigirem (de modo geral) respostas rápidas do jogador, ou até mesmo movimentos mais complexos com relação aos que o paciente pode realizar, inviabilizando sua utilização. É necessário, portanto, adaptar o jogo às limitações deste (HOCINE; GOUAICH, 2011). Hocine e Gouaich (2011) também destacam a necessidade de personalizar a experiência do tratamento e tornar o jogo mais customizável, seja com algoritmos que adaptarão o jogo durante a sessão, ou com configurações predefinidas, que serão ajustadas antes da sessão por intermédio do fisioterapeuta. Essa abordagem pode apresentar resultados melhores com relação à motivação do paciente. De fato, seria fácil identificar suas dificuldades e modificar o jogo para deixá-lo mais fácil antes que cause frustração, assim como, modificar o jogo para aumentar levemente a dificuldade, para que o paciente se sinta desafiado e não se canse do jogo.

Segundo Burke et al. (2009), quando a terapia com jogos sérios é utilizada, torna-se possível fornecer *feedback* visual e instantâneo, além de oferecer um desafio ao paciente, estratégias que podem aumentar a motivação do mesmo ao dar significado aos movimentos realizados. Para contribuir no acompanhamento detalhado do paciente, os jogos podem registrar seu desempenho durante as sessões ou até mesmo seus movimentos, tornando esses dados disponíveis ao fisioterapeuta e facilitando até mesmo a análise dos resultados obtidos na reabilitação (HOCINE; GOUAICH, 2011).

Nos últimos anos, os jogos sérios vêm sendo utilizados com sucesso em várias áreas da saúde, desde tratamento de fobias até reabilitação e gerenciamento de doenças crônicas (MICHAEL; CHEN, 2006; BOLAND, 2007). Por meio dessa nova abordagem, juntamente com tecnologias de interfaces de RV, é possível criar ambientes interativos e individualizados nos quais a prática intensa das atividades de reabilitação é executada pelo paciente com ótima motivação e foco, gerando um bom *feedback* (FLUET PHD et al., 2016). Dessa forma, o desenvolvimento de um ambiente virtual capaz de prender a atenção do jogador se torna um diferencial para o sucesso do processo de reabilitação.

2.6 Sistemas Interativos e Interfaces Humano-Computador

A definição de interação usuário-sistema evoluiu ao longo do tempo. Em geral, tal interação pode ser considerada como tudo o que acontece quando uma pessoa e um sistema computacional se unem para realizar tarefas, visando um objetivo (LEATHERBURY, 1995). Mais recentemente, enfatiza-se a interação usuário-sistema como processo de comunicação entre pessoas, mediada por sistemas computacionais (SOUZA; LEITÃO, 2009).

A interface de um sistema interativo compreende toda a porção do sistema com a qual o usuário mantém contato físico (motor ou perceptivo) ou conceitual durante a interação, sendo o único meio de contato entre o usuário e o sistema (MORAN, 1981). O contato físico na interface ocorre através do hardware e do software utilizados durante a interação. Dispositivos de entrada, como teclado, mouse, joystick, microfone e câmera, permitem ao usuário agir sobre a interface do sistema e participar ativamente da interação. Já os dispositivos de saída, como monitor, impressora e alto-falante, permitem ao usuário perceber as reações do sistema e participar passivamente da interação (BARBOSA, S.; SILVA, 2010).

De acordo com Simone Barbosa e Silva (2010), usar um sistema interativo significa interagir com sua interface para alcançar objetivos em determinado contexto de uso. A interação e a interface devem ser adequadas para que os usuários possam aproveitar ao máximo o apoio computacional oferecido pelo sistema. Para isso, são necessários os seguintes critérios de qualidade de uso: a usabilidade, que está relacionada com a facilidade de aprendizado e uso da interface, bem como com a satisfação do usuário em decorrência desse uso (NIELSEN, 1993); a experiência do usuário, englobando suas emoções e sentimentos; a acessibilidade, relacionada à remoção das barreiras que impedem usuários de serem capazes de acessar a interface do sis-

tema e interagirem com ele (PREECE; ROGERS; SHARP, 2015); e a comunicabilidade, que diz respeito à capacidade da interface de comunicar ao usuário a lógica utilizada na concepção do sistema interativo, para que o mesmo faça um uso criativo, eficiente e produtivo dele (PRATES; BARBOSA, S. D. J., 2007).

Criar uma interface adequada para a interação entre o ser humano e a máquina é uma tarefa complexa, devido ao aspecto humano das relações. Devido a essa complexidade, constituiu-se a Interface Humano-Computador (IHC), que pode ser definida como um conjunto de estudos que envolve a interação entre pessoas e equipamentos computacionais desenvolvendo métodos e ferramentas para design, criação, implementação e manutenção de sistemas computacionais adequados ao uso humano. Assim, a IHC é um tema multidisciplinar com enfoque humano, com o intuito de mapear o que se torna necessário para o desenvolvimento otimizado dos sistemas computacionais (ROCHA; BARANAUKAS, 1998). Preece e Rombach (1994) definem a IHC como sendo o entendimento das pessoas em relação ao uso dos sistemas computacionais, de modo que sistemas melhores possam ser projetados para melhor atender às necessidades dos usuários.

À medida que os computadores se integram a objetos do cotidiano, a IHC torna-se crítica: em muitas aplicações, os usuários precisam interagir naturalmente com os computadores, por meio de gestos, movimentos das mãos e fala, por exemplo. Nesse sentido, as Interfaces Naturais de Usuário (NUI), ou interfaces baseadas em gestos, sempre desempenharam um papel crucial na comunicação homem-máquina, pois constituem uma expressão direta dos conceitos mentais (SHARMA et al., 1996). Pode-se definir uma NUI como uma interface de usuário que utiliza comportamentos naturais humanos para interagir diretamente com o conteúdo digital. Uma NUI faz a mediação das interações do usuário com o computador de uma forma intuitiva e natural, provida através do corpo, gestos, voz e toque (WIGDOR; WIXON, 2011). A variedade de gestos de mãos e corpo, comparada com paradigmas de interação tradicionais, pode oferecer oportunidades únicas também para formas novas mais atrativas e inclusivas de IHC (SHARMA et al., 1996).

Existem diversas interfaces que podem ser definidas como NUIs, uma delas é o *Myo*. O *Myo* é um bracelete desenvolvido pela *Thalmic Labs* (atualmente renomeada para *North*) que permite interações com vários dispositivos eletrônicos por meio de gestos. O aparelho é colocado no antebraço e possui uma série de eletrodos que captam a atividade muscular, além de sensores como acelerômetro e giroscópio que identificam as intenções de movimento do

usuário (NORTH INC., 2014).

Em vários casos, principalmente em aplicações com foco em reabilitação, torna-se necessário um sistema que possa usar qualquer combinação de interfaces, seja isoladamente ou em conjunto. Esse tipo de sistema é chamado de multimodal, um sistema IHC que responde a entradas em mais de uma modalidade ou canal de comunicação. O modo de comunicação pode ocorrer de acordo com os sentidos humanos e/ou por meio de dispositivos de entrada do computador (JAIMES; SEBE, 2007).

Portanto, uma IHC busca minimizar ao máximo possível a barreira entre o usuário humano e o sistema computacional oferecendo interfaces amigáveis, de modo que este possa ser utilizado com o menor esforço e com maior capacidade possível.

2.7 Considerações Finais

A aceitação dos jogos na reabilitação ocorre devido ao seu alto potencial de proporcionar ao paciente a oportunidade de praticar atividades que não são possíveis de serem praticadas no ambiente clínico. O desenvolvimento de um ambiente virtual capaz de oferecer ao paciente uma reabilitação menos desgastante em uma experiência mais atraente e lúdica, se torna um diferencial para o sucesso do processo de reabilitação. Mas é muito importante que o paciente se adapte facilmente a interface apresentada no jogo e que o mesmo esteja pronto para abranger vários perfis de pacientes.

Sobre esses aspectos, pode-se concluir que os jogos sérios e a RV podem contribuir para a reabilitação pós-AVE, fornecendo tarefas mais motivadoras ao paciente. Desta forma, criar sistemas que permitam que pessoas com esses problemas possam ser reabilitadas de maneira mais efetiva se torna uma tendência promissora na reabilitação de movimentos. O próximo capítulo apresenta a análise dos trabalhos relacionados com a proposta desta pesquisa.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

3.1 Introdução

Este capítulo apresenta um estudo sobre trabalhos relacionados a essa pesquisa. Foi feita uma análise comparativa dos sistemas associados à jogos sérios e ambientes virtuais para reabilitação motora, com o foco em reabilitação pós-AVE. Como metodologia para a análise dos trabalhos, primeiramente, foi realizada uma busca nas bases *IEEE Xplore Digital Library*, *ACM Digital Library*, *ScienceDirect*, *Springer* e *BioMedCentral*, além de bibliotecas digitais como o *Banco de Teses e Dissertações da UFU*, *Biblioteca Digital Brasileira de Computação*, dentre outras. A string de pesquisa utilizada para a busca nos repositórios foi: *(("serious game") OR ("virtual environment") OR ("virtual reality")) AND (("stroke rehabilitation") OR ("motor rehabilitation")) AND ("upper limb")*, assim como os termos correspondentes em português.

No total, foram identificados 918 resultados nas bases de dados. Como critério de exclusão, foi feita uma filtragem nos trabalhos que não correlacionavam jogos sérios e Realidade Virtual com reabilitação pós-AVE ou reabilitação motora nos membros superiores. A partir do resultado dessa filtragem foi possível realizar uma análise qualitativa, onde foram definidas seis características com base nos principais atributos desses trabalhos. Tais características são definidas a seguir.

1. **Ambiente Customizável:** O sistema dispõe de um ambiente com elementos ajustáveis que podem ser controlados pelo terapeuta, de acordo com o perfil do paciente. As tarefas do jogo a serem executadas pelo paciente possuem diferentes níveis de dificuldade ou adaptabilidade.
2. **Interação Multimodal:** A aplicação permite o uso de diferentes dispositivos de entrada

para a interação com o ambiente, a fim de proporcionar a adequação de diferentes perfis de pacientes ao sistema, e também a captura de movimentos de vários membros do corpo.

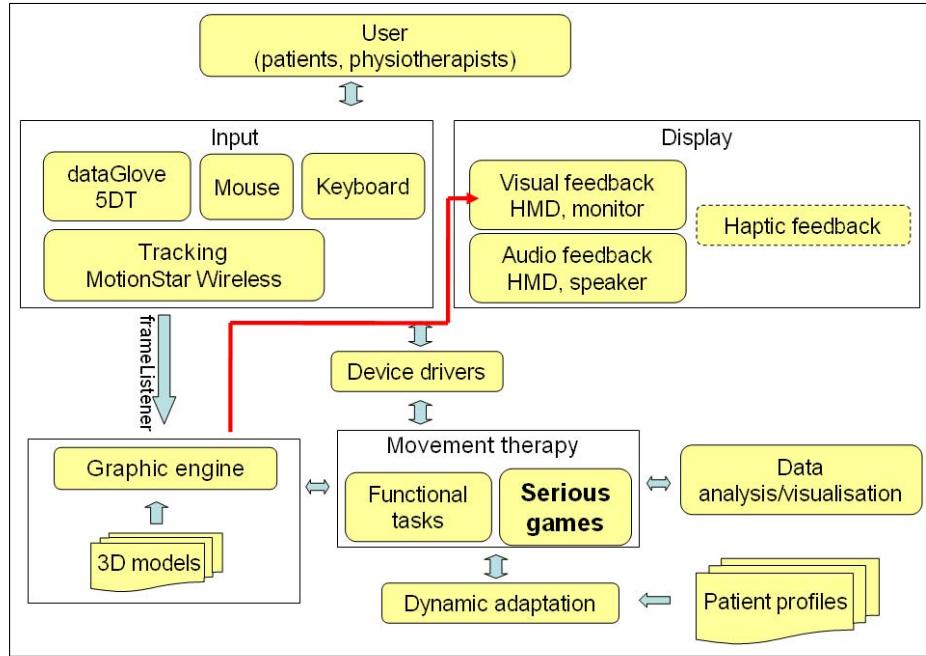
3. **Narrativa Lúdica:** Existe uma narrativa ou um enredo que torna o jogo mais interessante ao paciente, motivando-o a continuar de modo a estimular sua imersão. Ainda, utiliza-se de alguma forma de linguagem na qual a mediação entre o paciente e a narrativa aconteça por meio de interface gráfica. Essa característica deve estar em conformidade com o componente “Ficção e Narrativa”, definido no capítulo 2.
4. **Interface de RV:** Suporta técnicas de Realidade Virtual, de modo a recriar ao máximo a sensação natural para o paciente, permitindo-lhe visualizar, interagir e manipular objetos presentes no ambiente.
5. **Qualidade Gráfica:** Classificação da fidelidade de elementos gráficos e o nível de realismo do ambiente tridimensional que o jogo dispõe, em termos de quantidade de polígonos e complexidade dos materiais e elementos geométricos. O intuito é que, em conformidade com o componente “Estética e Gráficos”, definido no capítulo 2, o paciente se sinta mais imerso e motivado.
6. **Especificidade Terapêutica:** A finalidade do sistema se restringe à reabilitação de pacientes pós-AVE, podendo ainda ser aplicada em outros tipos de reabilitação.

Dentre os trabalhos selecionados após a filtragem, os que apresentaram maior relevância e similaridade com relação à pesquisa são apresentados e discutidos a seguir.

3.2 Jogos Sérios para Terapia de Reabilitação pós-AVE

A pesquisa feita por Ma e Bechkoum (2008) detalha o desenvolvimento e teste de uma terapia de movimento baseada em jogos sérios. O projeto visa encorajar os pacientes pós-AVE com distúrbios motores nos membros superiores a praticar exercícios físicos. Dessa forma, procura-se aumentar a resistência, destreza, velocidade e amplitude de movimento desses pacientes.

O sistema é composto por um *framework* para a execução dos jogos sérios e aplicação da terapia de movimento, como é mostrado na Figura 3.1. Esse *framework* consiste em dispositivos de entrada e saída como luvas, sensores hapticos e um *Head Mounted Display* (HMD), um driver que conecta o hardware utilizado com os componentes de software e um módulo para a execução e controle dos jogos sérios, além da interpretação dos movimentos funcionais.

Figura 3.1: Estrutura do *framework* desenvolvido.

Fonte: (MA; BECHKOUM, 2008)

Os autores desenvolveram um módulo de adaptação dinâmica que, utilizando perfis dos pacientes e dados do progresso, seleciona as tarefas e os jogos a serem executados, configurando seu nível de dificuldade. A interação dos pacientes com o sistema é registrada e analisada, assim, o sistema pode fornecer dados do progresso e agrupar cada perfil desses pacientes. Além disso, existe um módulo que permite a visualização dos movimentos executados pelos pacientes, exibindo dados como ângulos articulares e a amplitude de movimento.

O primeiro jogo sério consiste em um ambiente 3D onde o paciente segura uma cesta virtual para pegar laranjas que caem aleatoriamente em uma área de destino, como é mostrado na Figura 3.2. A posição e a orientação da cesta virtual são controladas por um sensor acoplado a uma cesta real, que o usuário segura com uma mão. Em outro jogo, o paciente deve usar suas mãos para pegar peixes que estão nadando aleatoriamente na água, em um ambiente virtual submerso. O jogador pode ver duas mãos virtuais representadas através de um sensor conectado em cada mão.

O trabalho tem como principal vantagem uma interface multimodal com a capacidade de permitir diversos tipos de dispositivos de entrada e também de saída, proporcionando ao paciente um ótimo *feedback*. Além disso, o *framework* desenvolvido permite a integração com os três jogos desenvolvidos e, a partir de dados coletados previamente, a adaptação dinâmica da dificuldade. Isso possibilita a adaptação de diferentes perfis de pacientes.

Figura 3.2: Jogo sério para captura de laranjas virtuais.

(a) Sistema de captura de movimentos com cesta virtual e HMD.



(b) Ambiente virtual de um dos jogos em execução.



Fonte: (MA; BECHKOUM, 2008)

Todos os jogos desenvolvidos no trabalho apresentam algum tipo de narrativa com o intuito de prender a atenção do paciente. Entretanto, a simplicidade gráfica e a baixa fidelidade dos elementos virtuais podem prejudicar a boa imersão. Outra desvantagem é que o sistema não possibilita a customização prévia do ambiente virtual, mas somente a adaptação dinâmica de dificuldade.

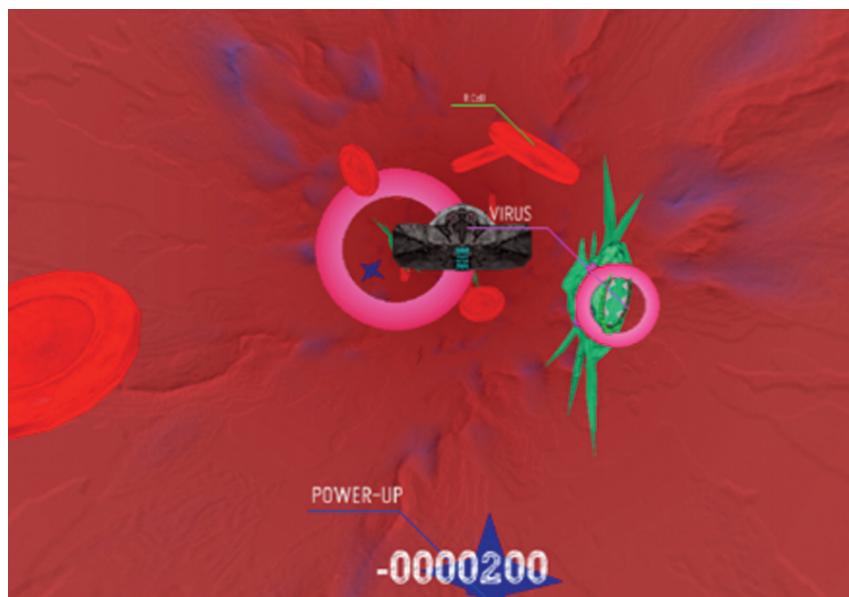
Os autores executaram uma série de testes com os pacientes, analisando informações como pontuação, duração, taxa de erros e velocidade média. Gráficos comparativos foram gerados ao final das execuções dos testes. Segundo os autores, bons resultados foram alcançados e mostraram que o sistema influenciou positivamente na recuperação parcial dos movimentos nos pacientes testados.

3.3 Jogo Customizável para Reabilitação pós-AVE Assistido por Robô

A recuperação motora da extremidade superior é o foco principal do trabalho de Lafond, Qiu e Adamovich (2010), onde é apresentado um treinamento em RV assistido por robô. O jogo permite que o paciente interaja com o ambiente virtual por meio de um robô de 6 graus de liberdade controlado por força. O foco é a melhoria da velocidade e da precisão dos movimentos do ombro e do cotovelo (flexão, extensão e rotação interna).

No jogo, o paciente move uma nave através de um espaço representando o interior de um vaso sanguíneo humano, atingindo ou evitando objetos, como pode ser visto na Figura 3.3. O ambiente é adaptável às habilidades de cada paciente. Segundo os autores, é possível ajustar elementos como a velocidade, o espaçamento, o número de objetos e a frequência dos alvos. Essas propriedades são configuradas por um terapeuta durante uma sessão por meio de uma interface. Além disso, um amortecimento global pode ser adicionado para ajudar os participantes com tremores a estabilizar seus padrões de movimento.

Figura 3.3: Tela do cenário do jogo.



Fonte: (LAFOND; QIU; ADAMOVICH, 2010)

De acordo com os autores, as vantagens em relação à terapia convencional podem incluir melhor engajamento do paciente, maior aprendizado motor via estímulos visuais, padronização dos movimentos nas sessões e capacidade de rastrear os movimentos do paciente no jogo ao longo do tempo. Outra vantagem é com relação à customização do ambiente virtual, onde é possível realizar diversos ajustes e personalizações no jogo por meio de um painel interativo. Tal característica proporciona aos diversos perfis de pacientes vários níveis de dificuldade ou adaptabilidade. A narrativa presente no jogo também é uma vantagem bastante interessante, onde o paciente presencia uma ambientação bastante lúdica.

Porém, existem algumas desvantagens presentes no trabalho, como a falta de uma interface multimodal, para que seja possível a interpretação de outras entradas além do robô desenvolvido. Outra desvantagem é a baixa qualidade gráfica do ambiente virtual, o que pode ocasionar uma desmotivação ou até mesmo cansaço visual no paciente.

3.4 Plataforma de Jogos Sérios para Auxílio na Fisioterapia e Reabilitação Motora

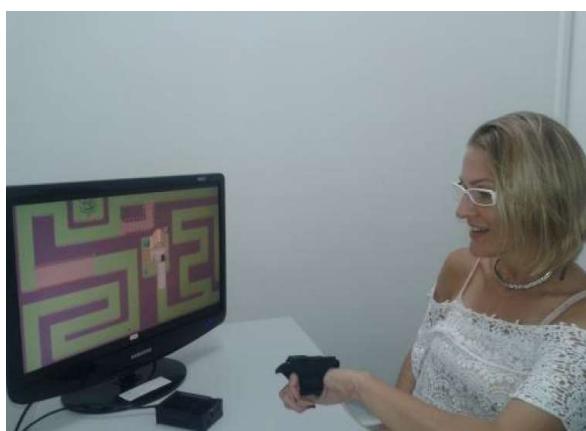
A pesquisa de Kronbauer, Neto e Barreto (2015) apresenta um *framework* que possibilita a criação e personalização de jogos para serem aplicados em diversos tipos de reabilitação de movimento, incluindo AVE. A estrutura é dividida em três unidades:

- Unidade de Desenvolvimento de Jogos – se refere a um ambiente para a criação de jogos que facilite a modelagem de cenários para o tratamento terapêutico;
- Unidade de Execução de Jogos – camada de execução dos jogos e interpretação de comandos executados pelo paciente;
- Unidade de Controle Vestível – responsável por capturar os movimentos do paciente por meio de sensores e enviar para a Unidade de Execução.

Para avaliar as potencialidades do projeto, os autores desenvolveram um protótipo de um jogo voltado para o tratamento de déficits motores ou coordenação. O jogo desafia o paciente a percorrer um labirinto por meio dos movimentos da mão e do pulso. O controle vestível desenvolvido possui um acelerômetro e é responsável por identificar os movimentos nos três graus de liberdade e transmiti-los para a unidade de execução. A Figura 3.4 mostra a execução do jogo.

Figura 3.4: Um dos jogos sério desenvolvidos.

(a) Sistema sendo utilizado com o controle vestível.



(b) Ambiente do jogo em execução.



Fonte: (KRONBAUER; NETO; BARRETO, 2015)

Por meio de métricas como eficiência, ergonomia, eficácia, facilidade, usabilidade e experiência, os autores fizeram a avaliação dos pacientes e comprovaram resultados satisfatórios.

Uma das principais vantagens é que o foco de reabilitação não se limita somente ao AVE pois, segundo os autores, as patologias que o sistema pode auxiliar no tratamento são: doença de Parkinson, Alzheimer, lesões medulares, encefalopatia hipóxico-isquêmica e AVE. Outra vantagem é a possibilidade não só de um jogo customizável, mas da criação de vários tipos de jogos sérios para reabilitação. O *framework* é responsável por interconectá-los e interpretar os comandos executados pelo paciente.

Entretanto, o sistema não apresenta jogos com RV e nem dispõe de ambientes tridimensionais bem elaborados. A narrativa lúdica é outro fator ausente nos jogos desenvolvidos. Outra desvantagem é com relação a interface de captura de movimentos, somente é possível interagir com os jogos por meio do sensor desenvolvido, o que pode prejudicar a viabilidade do sistema para muitos pacientes.

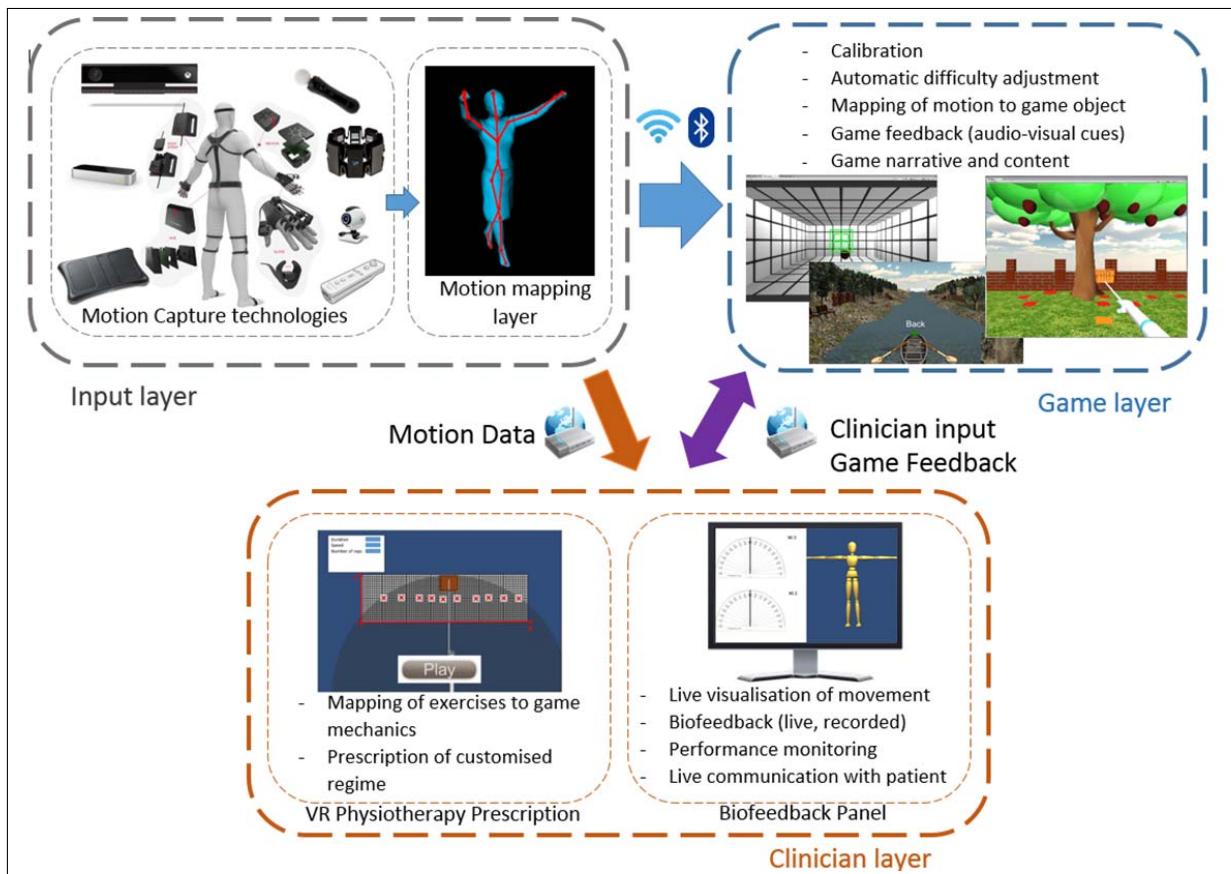
3.5 Reabilitação Motora por meio do Desenvolvimento de Ambientes Virtuais Customizáveis

Paraskevopoulos et al. (2016) propõem uma estrutura baseada em RV para o desenvolvimento de jogos sérios com exercícios terapêuticos personalizados, tendo como alvo a reabilitação motora. Para isso, o sistema desenvolvido foi dividido em camadas, como mostra a Figura 3.5.

O sistema permite a integração de diversos tipos de dispositivos de entrada, tornando-o multimodal. Assim, a camada de entrada executa a tradução e o mapeamento do dispositivo de entrada escolhido. Os dados de movimento são transmitidos para a camada de jogo e para a camada do clínico via *Bluetooth* ou via web. Na camada do clínico, os exercícios são mapeados e o clínico executa a customização da posição dos elementos do jogo e o alcance máximo dos movimentos do paciente. Além disso, nessa mesma camada, o terapeuta pode ajustar outros parâmetros, como duração, velocidade do jogo e número de repetições executadas para o exercício. Por fim, na camada de jogo, são feitas todas as atividades definidas anteriormente dentro do jogo escolhido, gerando uma saída na camada do clínico.

Em um dos jogos desenvolvidos, o paciente deve coletar maçãs em um ambiente virtual, como é possível ver na Figura 3.6. Antes da execução do jogo, o terapeuta define cada ponto onde as maçãs serão dispostas, através de uma interface, além de configurar todas as outras

Figura 3.5: Diagrama das camadas propostas no sistema.



Fonte: (PARASKEVOPOULOS et al., 2016)

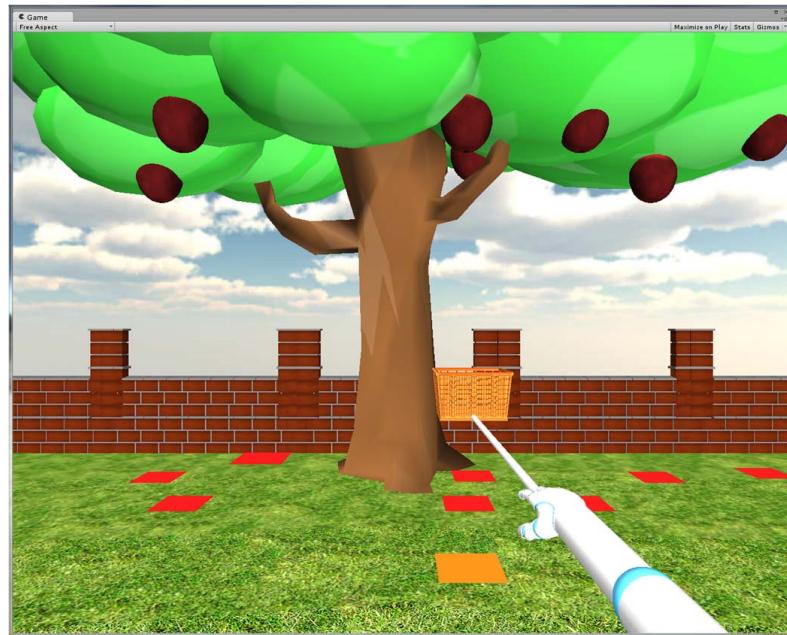
propriedades da execução atual.

Por meio de um estudo piloto, os autores desenvolveram pesquisas para avaliar a aceitabilidade, viabilidade e eficácia da abordagem proposta, comparando o jogo desenvolvido com abordagens tradicionais de reabilitação, onde, segundo eles, alcançaram bons resultados. No entanto não disponibilizaram gráficos ou análises de desempenho mais avançadas.

Tem-se como vantagem a camada de interface desenvolvida, que permite que uma vasta possibilidade de dispositivos de entrada sejam interpretados pelo sistema, tornando-o um sistema multimodal. Outra vantagem é a camada do clínico, que foi projetada com o objetivo de mapear e customizar todos os exercícios a serem executados durante o jogo, além de mostrar, em tempo real, um *biofeedback* e o desempenho do paciente no jogo.

Somente um jogo foi apresentado pelos autores, mas a proposta é desenvolver vários “mini games” com propósitos diversos. O sistema proposto pode ser considerado como uma ferramenta de desenvolvimento de jogos customizáveis, com o foco na reabilitação motora de modo geral, não somente pós-AVE.

Figura 3.6: Tela do cenário do jogo.



Fonte: (PARASKEVOPOULOS et al., 2016)

Os autores citam uma narrativa supostamente presente no jogo desenvolvido. Porém, não foram apresentados maiores detalhes e nem identificado um enredo que favoreça a imersão e motivação do paciente. Apesar de se tratar de um ambiente em RV, não se pode afirmar que o mesmo se define como um ambiente com alta fidelidade de elementos gráficos (exemplo disso são os modelos das maçãs e do braço 3D, além do cenário em geral), o que pode desmotivar o paciente e prejudicar sua imersão.

3.6 Simulador em RV para Auxílio na Reabilitação pós-AVE

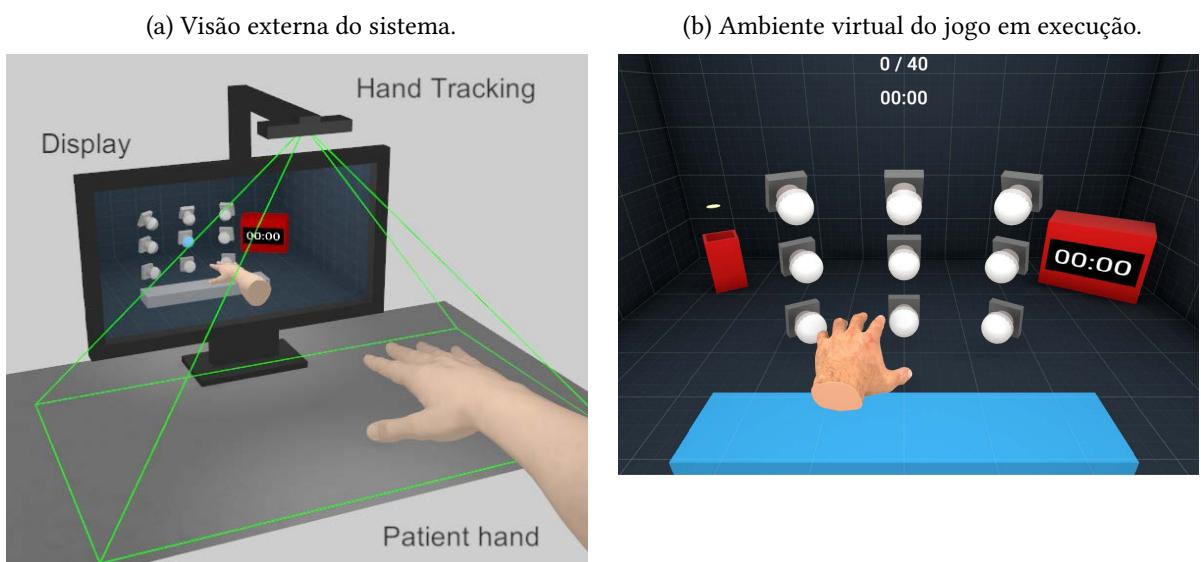
No trabalho de David, Bouyer e Otmane (2017) foi proposto um sistema para auxiliar na recuperação motora dos membros superiores em pacientes que sofreram AVE, composto por um ambiente em RV que simula a prática de atividades, com o propósito de serem executadas pelos pacientes sem saírem de casa.

O paciente cumpre objetivos realizando tarefas repetitivas e intensivas, envolvendo movimentos do braço. O sistema monitora o desempenho e o progresso ao longo do tempo e os indicadores são capturados e enviados aos terapeutas. Também é possível ajustar a dificuldade de forma adaptativa, baseada em uma avaliação de calibração, além de possuir um professor

virtual que auxilia o paciente nos objetivos a serem cumpridos.

O objetivo terapêutico é focado nos movimentos do cotovelo e do ombro. Os pacientes executam tarefas que remetem àquelas do seu cotidiano, designando objetos no ambiente virtual. No jogo, o paciente deve realizar movimentos com o braço atingindo os alvos virtuais com a mão, selecioná-los em um tempo máximo pré-definido e, por fim, voltar para zona de descanso, quando um novo objetivo é então destacado. O exercício continua até que um número predefinido de alvos tenha sido alcançado. O sistema rastreia a posição da mão ao longo do tempo por meio do sensor *Leap Motion*. A Figura 3.7 ilustra a visão do paciente e o ambiente do jogo.

Figura 3.7: Sistema de simulação desenvolvido.



Fonte: (DAVID; BOUYER; OTMANE, 2017)

Para avaliar a usabilidade do sistema, os autores submeteram alguns pacientes a uma série de testes no ambiente virtual, utilizando métricas próprias. Terapeutas também participaram dos testes, prescrevendo os exercícios a serem realizados no simulador.

Pode-se destacar como vantagens, o acompanhamento e a customização das tarefas pelo terapeuta via distância e a adaptação dinâmica de dificuldade. Além disso, as técnicas de RV foram bem aplicadas no ambiente, permitindo ao paciente uma ótima interação natural com os objetos.

Como o sistema foi projetado com o propósito de ser executado na casa do paciente, os autores não investiram em outras interfaces de dispositivos de entrada, sendo uma grande desvantagem a compatibilidade restrita ao *Leap Motion*. Outra desvantagem é a falta de uma

narrativa mais lúdica que motive o paciente, pois o fato de conter somente exercícios repetitivos pode causar fadiga ao longo do tempo.

3.7 Jogo Sério Customizável Aplicado à Reabilitação Física

O trabalho proposto por Trombetta et al. (2018) tem o objetivo de projetar um jogo sério customizável em RV com o intuito de permitir ao terapeuta configurar cada sessão de tratamento, personalizando um programa de atividades específico para cada paciente. O jogo pode possibilitar o uso de uma única solução para diferentes patologias, como no tratamento de pacientes pós-AVE ou do equilíbrio em idosos. Algumas das tarefas que o paciente deve executar são movimentos com as mãos, membros superiores, membros inferiores e tronco, para capturar objetos na tela e pontuar no jogo, como mostra a Figura 3.8.

Figura 3.8: Algumas tarefas possíveis durante a execução do jogo sério.



Fonte: (TROMBETTA et al., 2018)

As tarefas foram propostas visando atividades que são normalmente executadas no dia a dia, mas são específicas para pacientes com paresia em níveis mais leves. Os movimentos das atividades são capturados utilizando o *Microsoft Kinect*.

Na tela inicial é possível cadastrar todas as informações do paciente, assim como gerenciar os tipos de patologias que o mesmo possui. O próximo passo é definir o programa de atividades que o paciente irá executar. Para isso, o terapeuta tem acesso a todas as atividades disponíveis

no jogo e pode selecionar aquelas que devem ser realizadas pelo paciente por meio de uma interface de customização, como é possível observar na Figura 3.9.

Figura 3.9: Tela de seleção de atividades.



Fonte: (TROMBETTA et al., 2018)

Assim, ao executar o jogo, é criada uma sessão de reabilitação com todos os exercícios previamente configurados, de acordo com a dificuldade, o tipo e o nível da patologia selecionada. Os autores testaram o jogo com alguns tipos de pacientes e elaboraram questionários de avaliação tanto para terapeutas quanto para pacientes, contendo questões como eficiência do sistema, satisfação, facilidade de aprendizagem e memorização.

A principal vantagem é a possibilidade do uso de uma única solução para a reabilitação de diferentes tipos de patologias. Para isso, o sistema possui diversos módulos customizáveis para a criação de rotinas de atividades personalizadas. Além dessa vantagem, o jogo possui boa qualidade gráfica dos elementos e ambiente 3D, inclusive do avatar utilizado para representação do paciente. Porém, a solução tem como desvantagem a falta de uma interface multimodal que permita o uso de diferentes dispositivos de entrada e não somente o *Kinect*. A ausência de uma narrativa mais envolvente, menos repetitiva e um ambiente mais imersivo também podem ser consideradas desvantagens.

3.8 Considerações Finais

Com o intuito de extrair os principais atributos dos trabalhos encontrados na literatura, assim como estabelecer um comparativo entre cada um deles e a pesquisa desenvolvida, foi elaborada a Tabela 3.1, contendo as seis características definidas anteriormente para a comparação.

Tabela 3.1: Comparação entre os trabalhos relacionados.

Trabalho / Característica	Ambiente Customizável	Interacção Multimodal	Narrativa Lúdica	Interface de RV	Qualidade Gráfica	Especificidade Terapêutica
(MA; BECHKOUN, 2008)	✗	✓	✓	✓	Baixa	AVE membros superiores
(LAFOND; QIU; ADAMOVICH, 2010)	✓	✗	✓	✓	Baixa	AVE membros superiores
(KRONBAUER; NETO; BARRETO, 2015)	✓	✗	✗	✗	Muito Baixa	AVE e outras (membros superiores)
(PARASKEVOPOULOS et al., 2016)	✓	✓	✓	✓	Média	Reabilitação motora em geral
(DAVID; BOUYER; OTMANE, 2017)	✓	✗	✗	✓	Baixa	Somente AVE
(TROMBETTA et al., 2018)	✓	✗	✗	✓	Alta	Reabilitação motora em geral
(CYRINO, 2019)	✓	✓	✓	✓	Muito Alta	AVE e outras (membros superiores)

No estudo realizado, percebeu-se que a maioria das pesquisas e trabalhos abrangem ótimas técnicas de reabilitação pós-AVE, utilizando jogos sérios e contribuindo para a motivação dos pacientes. Foram encontrados também alguns trabalhos que expandem sua finalidade de reabilitação para outros casos, como Parkinson, Alzheimer, entre outros. No que diz respeito a customização, mesmo que superficial, quase todos apresentam algum método que permite configurações personalizadas de ambiente, e dois deles utilizam interface multimodal.

Porém, nenhum dos jogos dessas pesquisas encontradas prezam por ambientes tridimensionais com alta fidelidade de elementos gráficos, o que pode influenciar na imersão e motivação do paciente durante a reabilitação. No que diz respeito a narrativa, três dos trabalhos analisados apresentam elementos bem contextualizados, apresentando ao paciente algum tipo de enredo lúdico. Isso torna o jogo mais estimulante ao paciente, de modo a favorecer sua imersão

e interesse.

Uma característica também importante é como os dados são armazenados durante o jogo para que possam ser analisados ao final da execução, seja manual ou automaticamente. Em todas as pesquisas encontradas, os autores fizeram o uso de algum modo para analisar os resultados obtidos, porém de forma superficial. É importante o detalhamento dessas informações para que o terapeuta tenha acesso a todo o progresso do paciente durante a reabilitação.

Mesmo que tenham sido observadas propostas com vários tipos de jogos específicos para diversos tipos de paciente, nenhuma delas agrupa, em uma mesma solução, todas as características em questão. Assim, essa pesquisa foi motivada no sentido de agrupar todos esses atributos levantados em um único sistema. Esse sistema é composto por um jogo sério que apresenta um ambiente com gráficos próximo do fotorrealismo e uma narrativa lúdica, contendo níveis e tarefas adaptáveis pelo terapeuta. O jogo também permite o uso de diversos dispositivos de entrada por meio de uma interface multimodal, a fim de proporcionar a adequação de diferentes perfis de pacientes.

Além desses atributos, por meio do sistema proposto, não só é possível armazenar e gerar dados comparativos, mas também salvar todo o progresso do paciente no ambiente virtual. Dessa forma, o terapeuta pode analisar o caminho percorrido e a precisão alcançada em cada desafio presenciado pelo paciente e observar detalhadamente sua curva de progresso, gerenciando um tratamento mais eficiente e personalizado para cada paciente. O próximo capítulo apresenta a arquitetura utilizada para a implementação desse sistema, bem como os métodos utilizados em seu desenvolvimento.

Modelagem e Desenvolvimento do Sistema

4.1 Introdução

Este capítulo apresenta o processo de concepção e desenvolvimento do sistema, abordando os requisitos levantados e a arquitetura proposta, juntamente com diagramas para representação de seus componentes. São abordados, também, os estágios seguidos no desenvolvimento do sistema, apresentando as tecnologias utilizadas e detalhando todos os seus componentes, assim como o comportamento do jogo sério.

4.2 Especificação de Requisitos

Segundo Bezerra (2015), o levantamento de requisitos corresponde a etapa de compreensão do problema aplicada ao desenvolvimento do sistema. Os requisitos de um sistema são compostos a partir do levantamento das funcionalidades com base nas necessidades de seus futuros usuários, ou seja, as capacidades que ele deve possuir para satisfazer as exigências de quem possui o domínio do problema que o sistema propõe resolver.

Para o desenvolvimento do sistema *HarpyGame*, foram levantados requisitos funcionais e não funcionais, sendo apresentados a seguir. Os requisitos funcionais se referem aos serviços e funções que o sistema deve fornecer ao usuário. Já os requisitos não funcionais consistem nas restrições sobre esses serviços e funções (SOMMERVILLE, 2011).

4.2.1 Requisitos Funcionais

Os principais requisitos funcionais identificados para o sistema consistem em:

RF1 Cadastrar, alterar e consultar dados pessoais e dados clínicos dos pacientes.

RF2 Cadastrar e consultar as ocorrências de AVE dos pacientes.

RF3 Escolher os níveis do jogo que o paciente executará durante a sessão.

RF4 Configurar os elementos e as características de cada nível do jogo antes de cada sessão.

RF5 Escolher o tipo de controlador do jogo.

RF6 Configurar as características associadas ao controlador escolhido.

RF7 Visualizar informações de desempenho, pontuação, progresso e informações referentes ao nível atual na interface gráfica.

RF8 Responder, em tempo real, aos comandos enviados ao jogo através do controlador escolhido.

RF9 Geração de relatórios, detalhando os desafios alcançados e os resultados obtidos pelo paciente após as sessões.

4.2.2 Requisitos Não Funcionais

Os principais requisitos não funcionais do sistema são:

RNF1 O ambiente virtual deve ser composto por elementos gráficos próximos ao fotorrealismo e dispor de músicas e efeitos sonoros com o objetivo de torná-lo lúdico.

RNF2 O desempenho do jogo deve ser balanceado, com qualidade gráfica configurável, levando em consideração uma boa taxa de FPS – quadros por segundo (30 a 60 FPS).

RNF3 Ser adaptável a qualquer tipo de controlador, convencional ou não convencional.

RNF4 A movimentação da Harpia deve ser feita em tempo real a partir dos dados provenientes do controlador escolhido.

RNF5 Os movimentos exigidos durante o jogo devem ser similares aos movimentos executados durante uma fisioterapia convencional.

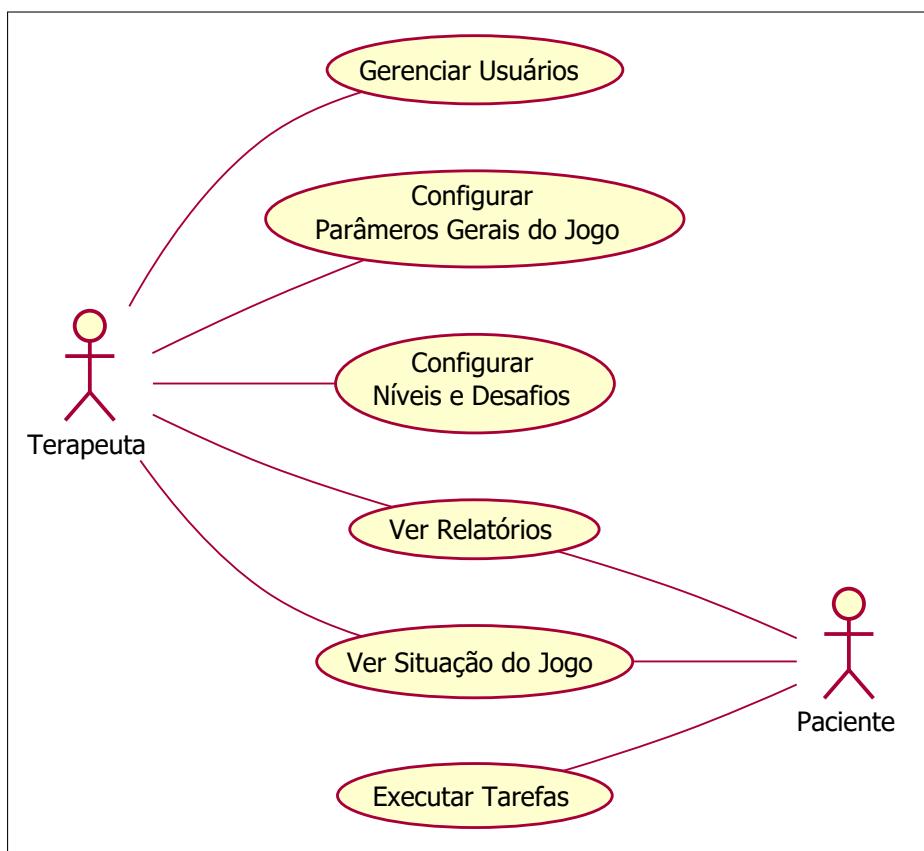
4.2.3 Modelo de Casos de Uso

O modelo de Casos de Uso é uma representação das funcionalidades e dos elementos externos ao sistema que interagem com ele. Este modelo molda os requisitos funcionais do sistema (BEZERRA, 2015). A Figura 4.1 apresenta o modelo de Caso de Uso que reúne as principais funcionalidades do sistema. Os atores envolvidos são:

Terapeuta Responsável por configurar as sessões do jogo e avaliar o paciente durante o procedimento, além de analisar os relatórios gerados pelo sistema.

Paciente Responsável por controlar o jogo e seguir todos os desafios propostos durante a execução, além de acompanhar a avaliação feita pelo terapeuta.

Figura 4.1: Modelo de Casos de Uso.



Fonte: Autoria própria.

A seguir são detalhados os Casos de Uso e os atores envolvidos nas interações apresentadas na Figura 4.1:

Gerenciar Usuários O terapeuta cadastra seus dados como avaliador, bem como os dados do paciente, sendo esses pessoais e clínicos. O terapeuta, também, edita e desativa tais usuários.

Configurar Parâmetros Gerais do Jogo O terapeuta seleciona as configurações gráficas e gerais para a execução do jogo, bem como configurações de controle, como tipo do controlador, precisão de movimento e velocidade da Harpia.

Configurar Níveis e Desafios O terapeuta seleciona o modo de jogo e os níveis da sessão atual, podendo configurar cada desafio que o paciente irá presenciar no ambiente virtual.

Ver Relatórios Após a execução do jogo, são gerados relatórios referentes a última sessão executada, bem como relatórios gerais. Esses relatórios são analisados pelo terapeuta e acompanhados pelo paciente.

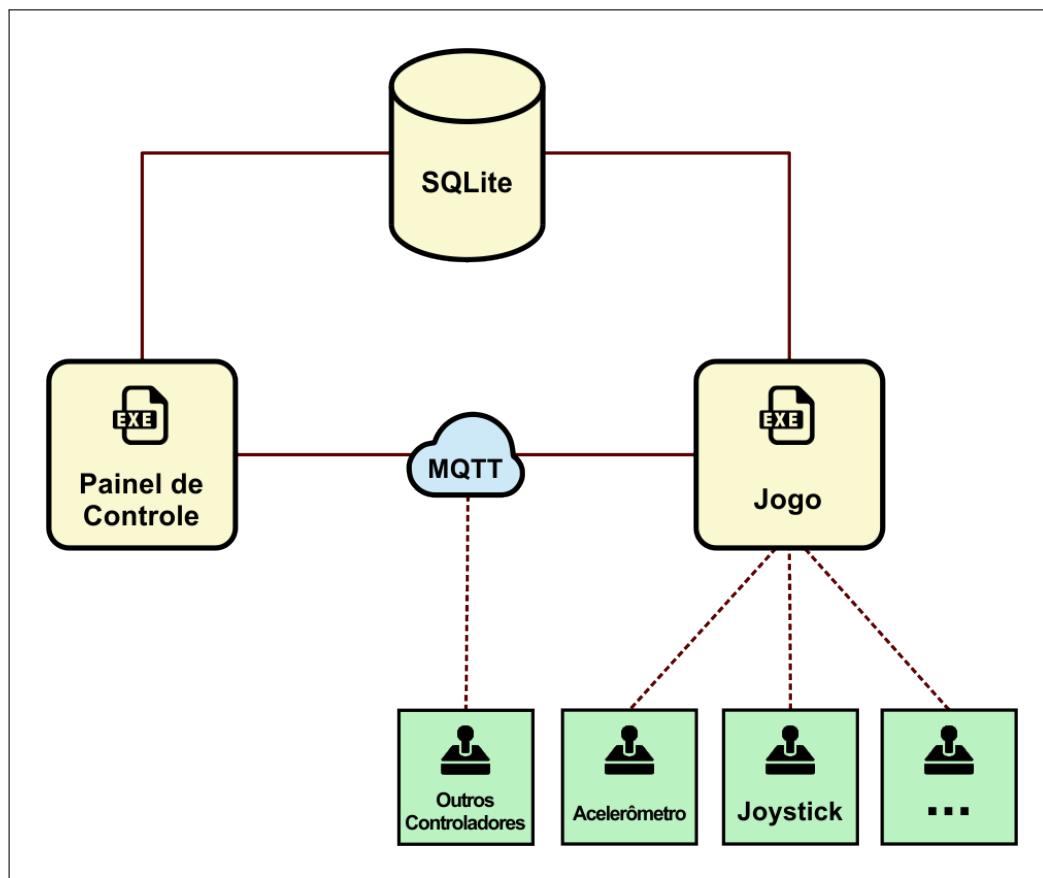
Ver Situação do Jogo Durante o jogo, são mostradas algumas informações de interface gráfica, como barra de vida da Harpia, barra de progresso do nível atual, tempo restante para concluir o nível e informações indicativas dos objetivos. Essas informações são acompanhadas pelo terapeuta e pelo paciente durante a sessão.

Executar Tarefas Durante o jogo, o paciente assume o controle da Harpia e executa as tarefas pré-configuradas pelo terapeuta, cumprindo os objetivos estabelecidos.

4.3 Arquitetura do Sistema

O sistema desenvolvido é composto por quatro componentes intercomunicáveis, sendo o painel de controle, o jogo sério, o banco de dados e a interface multimodal dos controladores. A Figura 4.2 apresenta esses componentes, sendo explicados a seguir.

Figura 4.2: Arquitetura do sistema *HarpyGame*.



Fonte: Autoria própria.

O painel de controle é responsável por configurar as sessões do jogo e pelo cadastro de pacientes e terapeutas. Trata-se de uma aplicação *desktop* que realiza o gerenciamento da solução como um todo, controlando inclusive o ciclo de vida do jogo propriamente dito.

Os dados referentes às configurações efetuadas pelo terapeuta e às ações do paciente durante as sessões são armazenados em uma base de dados comum (*SQLite*) entre o painel de controle e o jogo.

Os movimentos do antebraço do paciente são rastreados pelo dispositivo de entrada conectado ao jogo, que foi projetado, principalmente, para comunicar com o acelerômetro do bracelete *Myo*. O jogo também fornece a opção de ser controlado por joysticks convencionais,

podendo igualmente ser configurado para outros dispositivos de entrada. A movimentação da Harpia é feita a partir dos dados provenientes desses dispositivos.

Finalmente, o sistema dispõe de uma rede MQTT para realizar a comunicação entre o painel de controle, o jogo e eventuais dispositivos de entrada que não suportam a interface padrão de eixos reconhecida pelo jogo.

O MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo de mensagens fundamentado no modelo de publicação e assinatura (*publisher* e *subscriber*), definindo dois tipos de entidades: um *message broker* e inúmeros clientes (MQTT.ORG, 2014). O *broker* é um servidor que recebe todas as mensagens dos clientes e, em seguida, roteia essas mensagens para os clientes de destino relevantes. Um cliente é qualquer dispositivo ou aplicativo que possa interagir com o *broker* e receber mensagens. O cliente pode assinar qualquer “tópico” no *broker* a fim de receber as mensagens publicadas no mesmo ou publicar mensagens para que o *broker* as encaminhe a todos os clientes assinantes do tópico (YUAN, 2017).

Os tópicos MQTT da solução desenvolvida são usados tanto para o envio de comandos quanto para a captura de estados de dispositivos, notadamente:

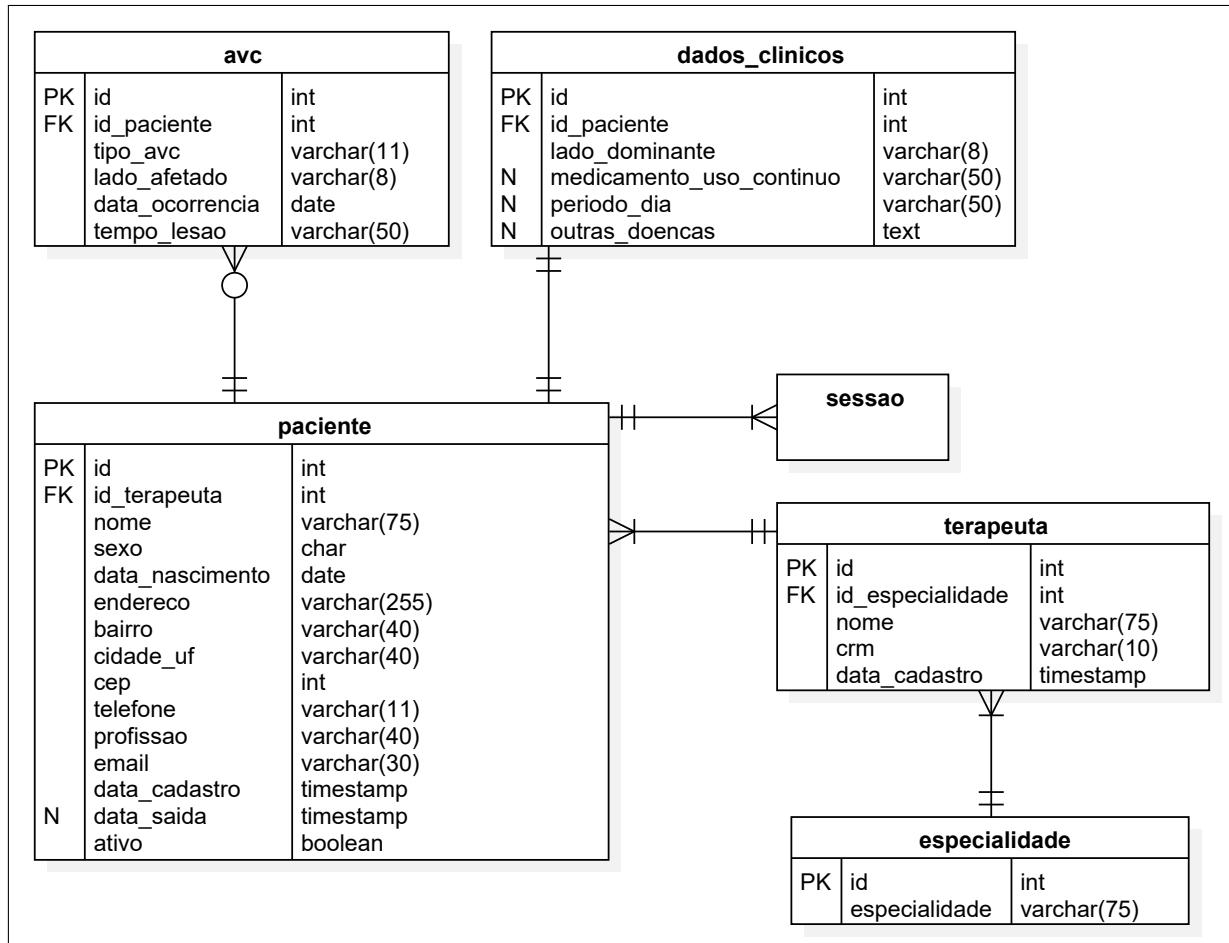
- seleção da sessão de treinamento, contendo a configuração completa dos níveis e a associação com o paciente e o terapeuta;
- lançamento e finalização do jogo e
- controle da posição da Harpia por meio dos dispositivos de entrada especiais.

Além disso, o MQTT é apropriado para uso em sistemas distribuídos. Assim, a arquitetura do sistema está habilitada a permitir que o painel de controle e o jogo sério sejam implantados em máquinas separadas.

4.3.1 Esquema do Banco de Dados

O banco de dados foi modelado utilizando a biblioteca *SQLite* (SQLITE, 2018). O banco é acessado tanto pelo painel de controle quanto pelo jogo, que fazem a escrita e a leitura dos dados em tempo de execução. As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam o Diagrama de Entidade de Relacionamento (DER) referente ao banco de dados, que foi dividido em duas partes.

Figura 4.3: DER do sistema *HarpyGame* – Gerenciamento de usuários.



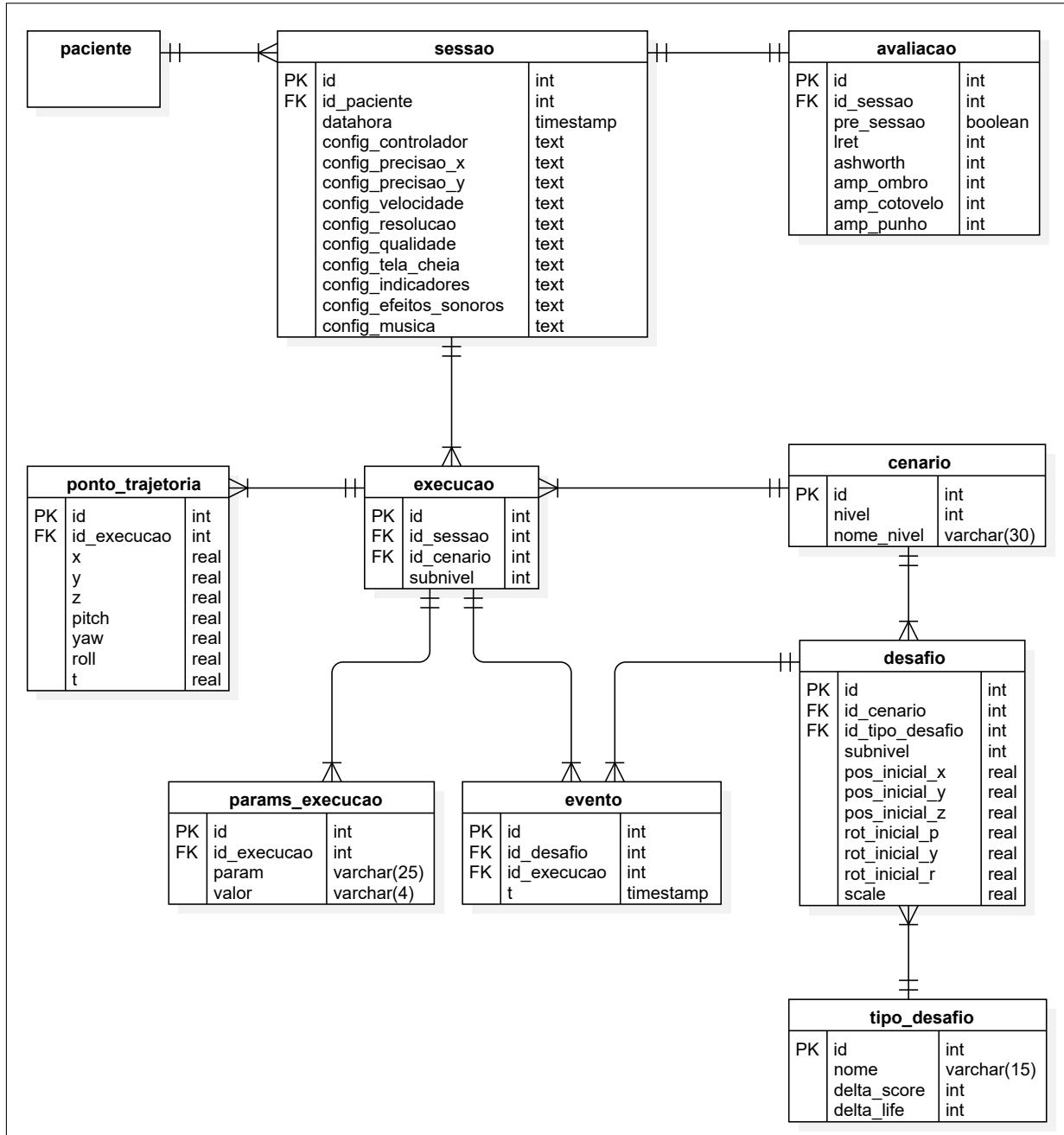
Fonte: Autoria própria.

Na parte de gerenciamento (Figura 4.3), a tabela “paciente” armazena todos os dados pessoais dos pacientes cadastrados. O relacionamento entre a tabela “paciente” e “terapeuta” indica que um paciente deve ter, obrigatoriamente, um terapeuta vinculado a ele, assim como um terapeuta pode ter um ou mais pacientes associados. As ocorrências de AVE, assim como outras informações clínicas do paciente, são armazenadas nas tabelas “avc” e “dados_clinicos”. O relacionamento estabelecido entre “paciente” e “dados_clinicos” significa que cada paciente deve estar associado a uma tabela “dados_clinicos”, ou seja, cada um possui informações clínicas individuais. Já o relacionamento entre “paciente” e “avc” indica que o paciente pode, ou não, possuir incidências de AVE.

Já nas tabelas relacionadas ao jogo (Figura 4.4), a tabela “sessao” é responsável pela execução do jogo salvando a sessão relacionada ao paciente. Essa tabela também é responsável por armazenar todas as configurações gerais do jogo escolhidas no painel de controle. A tabela “avaliacao” possui o objetivo de armazenar os valores resultantes das avaliações executadas

pelo terapeuta com o paciente antes e após as sessões.

Figura 4.4: DER do sistema *HarpyGame* – Persistência do jogo.



Fonte: Autoria própria.

Os possíveis níveis do jogo se encontram na tabela “cenario”, pois todo o jogo é executado utilizando o mesmo cenário, porém com os desafios dispostos dependendo das características escolhidas em cada nível. As execuções desses níveis são gerenciadas por meio da tabela “execucao”, onde são controlados os subníveis a serem executados.

Cada nível escolhido possui subníveis que definem a quantidade predefinida de desafios

que serão inseridos no cenário, o que se traduz na dificuldade do nível. Tais desafios foram divididos em tipos e inseridos na tabela “tipo_desafio”, que indica, também, a pontuação que cada um proporcionará ao ser concluído, ou ainda se determinado desafio ocasionará na diminuição da vida da Harpia.

Cada desafio possui posicionamento, rotação e escala iniciais, indicando o local de inserção no cenário e suas propriedades. Essas informações foram, previamente, calculadas e armazenadas na tabela “desafio”. Assim, de acordo com a configuração no painel de controle, o jogo selecionará somente os desafios escolhidos, instanciando-os com base nessas informações. Já os parâmetros dos desafios e opções referentes à execução escolhidos no painel de controle (como raio dos anéis, tipos de inimigos encontrados e tempo do nível) são salvos na tabela “params_execucao”, compondo um dicionário de configurações para cada execução.

Ao superar determinado desafio, é gerado um novo evento, que indica qual desafio foi superado e o tempo gasto, sendo salvo na tabela “evento”. Esses eventos podem ser objetivos concluídos (como passar por um anel ou pescar um peixe) ou ações prejudiciais (como encostar em inimigos). Além disso, toda a trajetória da Harpia é armazenada na tabela “ponto_trajetoria”, inserindo no banco sua posição e rotação a cada 200 milissegundos.

4.3.2 Dinâmica da Execução do Sistema

Primeiramente, o terapeuta faz o gerenciamento do paciente e seleciona os níveis e os desafios que irão compor a sessão. Logo após, são feitos os ajustes dos parâmetros relacionados ao jogo e aos dispositivos controladores. Ao finalizar a configuração no painel de controle, todas essas informações são salvas no banco de dados. O terapeuta, então, realiza a aferição dos ângulos no paciente e informa os valores obtidos na tela de avaliação pré-sessão.

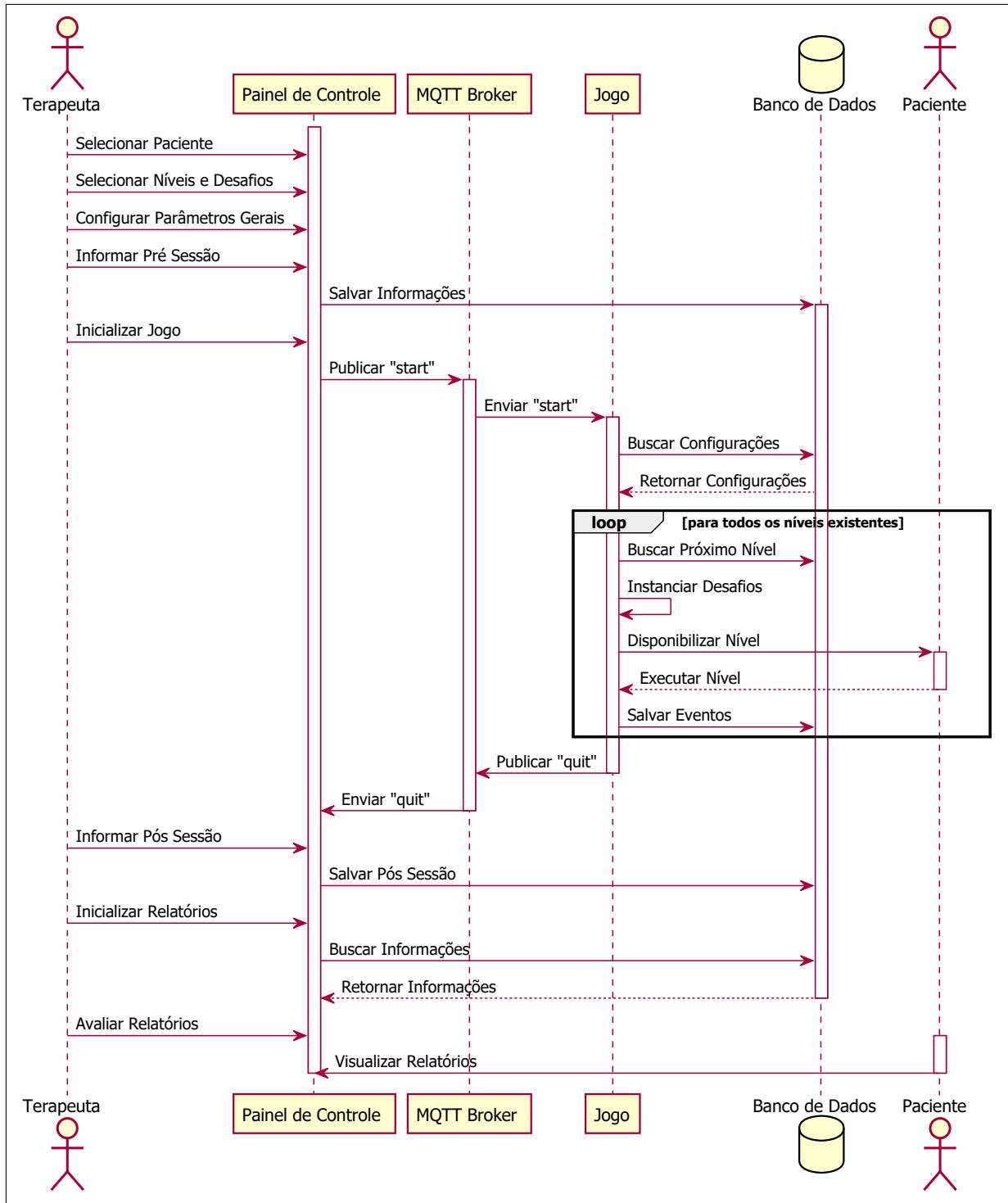
O painel inicializa o processo do jogo, publicando no tópico MQTT “*start*”, a mensagem com o ID da sessão atual. O jogo, estando inscrito nesse tópico, faz uma busca no banco de dados pelas configurações informadas anteriormente, utilizando o ID da sessão. Assim, o nível escolhido é iniciado contendo todos os desafios configurados. Quando um nível é concluído no jogo, ou seja, quando todos os desafios previstos são finalizados, o jogo faz uma nova busca no banco de dados e executa o próximo nível preestabelecido da sessão, aplicando, também, todos os desafios configurados.

Ao identificar que todos os níveis foram concluídos, o jogo publica o tópico MQTT “*quit*”, sendo finalizado. O painel de controle, estando inscrito nesse tópico, identifica que o jogo foi

finalizado, mostrando a tela de avaliação pós sessão. O terapeuta pode executar a aferição de ângulos novamente e informar os valores nessa tela.

A Figura 4.5 exibe o Diagrama de Sequência que representa a execução do sistema.

Figura 4.5: Módulos da execução do sistema.



Fonte: Autoria própria.

Após as sessões, é possível visualizar os relatórios contendo diversas informações da sessão. Essas informações consistem em desafios superados, inimigos atingidos, tempo de execução, falhas, dentre outras, além de um gráfico tridimensional que mostra toda a trajetória da Harpia durante o jogo. Por meio desses relatórios, o terapeuta consegue validar o protocolo estabelecido e identificar os resultados do tratamento no paciente.

4.4 Desenvolvimento do Sistema

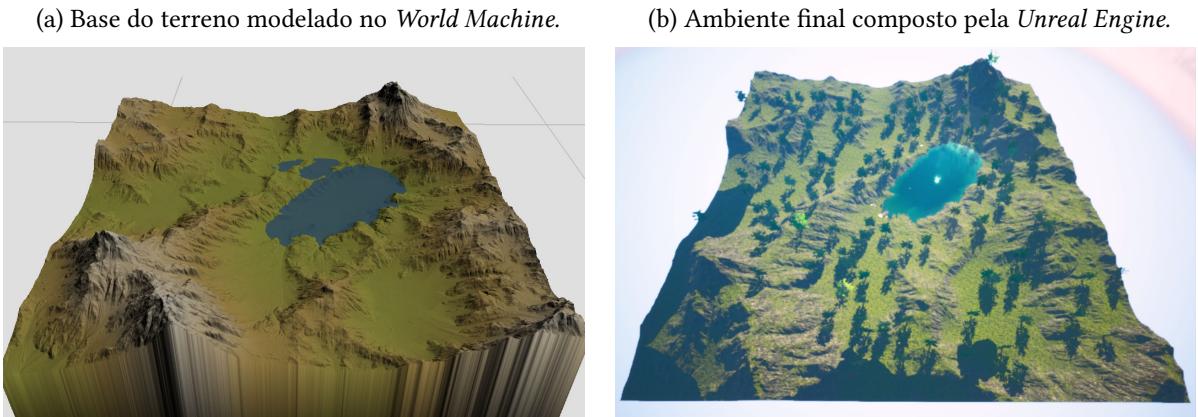
O jogo consiste de um ambiente em 3D, onde o paciente deve controlar uma Harpia utilizando o posicionamento de seu braço. Conhecida também como Gavião Real, a Harpia é uma ave encontrada em florestas tropicais, como a Amazônia. O cenário do jogo é composto por uma floresta virtual, contendo uma série de objetivos e desafios a serem cumpridos pelo paciente, que vão desde desviar de obstáculos a capturar alimentos, evitando o ataque dos predadores. O jogo foi desenvolvido em conformidade com os componentes da abordagem analítica de desenvolvimento de jogos sérios descrita na Sessão 2.4 do Capítulo 2.

Para a construção do ambiente 3D, interações de objetos e animações, a *Unreal Engine 4* foi escolhida. Trata-se de um motor gráfico (*engine*) ou conjunto de ferramentas integradas, desenvolvido pela *Epic Games* e amplamente utilizado para a construção de projetos relacionados a áreas como jogos, artes, arquitetura e simulação (EPIC GAMES, 2014). Uma distinção para a escolha da ferramenta é a capacidade que a mesma possui de geração de ambientes virtuais com alto poder de realismo e bem balanceados em respeito ao custo computacional (RATCLIFFE; SIMONS, 2017).

O terreno montanhoso do ambiente virtual foi modelado utilizando o *World Machine*, um conjunto de ferramentas procedurais para criação de terrenos com alta fidelidade ao mundo real (WORLD MACHINE SOFTWARE, 2018). A partir de cálculos de elevação de malha, o software gera saídas no formato de mapas de altura (*heightmaps*). Em seguida, esses mapas são exportados para a *Unreal*, onde é feita a composição do ambiente, juntamente com sua texturização. Na *engine*, foi criado um lago utilizando material baseado em texturas realistas, além de serem ajustados todos os efeitos de pós-processamento do cenário, assim como posição e intensidade da luz do sol. O cenário construído é mostrado na Figura 4.6.

A modelagem dos objetos do jogo, tais como a Harpia e os outros animais presentes no ambiente, foi feita utilizando o *Blender 3D*, um software amplamente utilizado para modelagem,

Figura 4.6: Cenário do jogo construído.



Fonte: Autoria própria e Tannús et al. (2018).

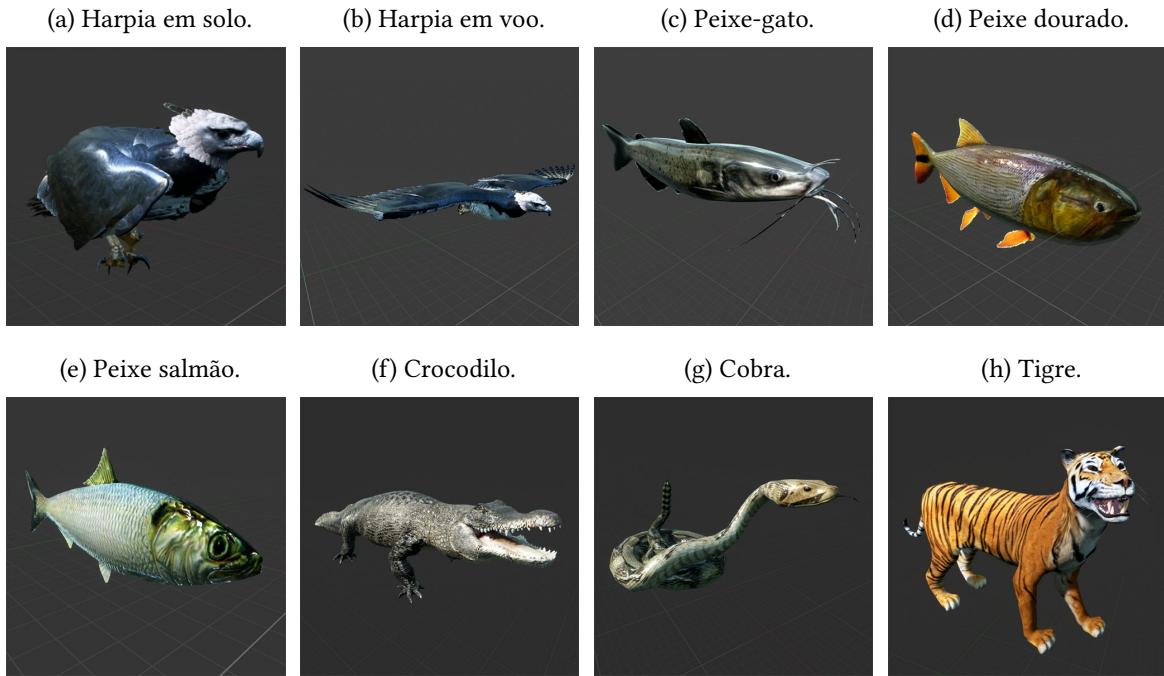
animação, texturização, composição e renderização (BLENDER FOUNDATION, 2018). Os animais foram modelados e texturizados com base em fotos reais de alta resolução, em suas visões laterais, frontais e superiores, sendo criados os materiais e mapas de textura. Esses animais são apresentados na Figura 4.7.

Já as árvores que compõem a vegetação foram modeladas com o software *SpeedTree*, que possibilita a geração de árvores realistas de modo procedural (INTERACTIVE DATA VISUALIZATION, 2017). As árvores são exportadas para a *Unreal*, onde foram dispostas pelo cenário, juntamente com elementos da folhagem, como grama, flores e pedras. Tais elementos foram criados utilizando a própria *engine*, por meio das ferramentas de grama e folhagem.

Todos os animais modelados possuem um esqueleto (*bones*) e suas animações necessárias, como andar, voar, nadar e atacar. Cada um deles possui um comportamento que é ativado conforme certas ações são executadas. Ao se aproximar dos predadores (cobra, crocodilo e tigre), é feita a transição para a animação de ataque do predador, fazendo com que a Harpia perca vida. Já se aproximando das presas (peixes e carnes cruas), a Harpia pode capturá-los para que sejam somados pontos. Quando a Harpia não está próxima desses animais, são mantidas as animações de andar pela floresta ou de nadar pelo lago, da mesma forma como se comporta o animal real. Todos esses *scripts* de interação foram desenvolvidos dentro do ambiente da *Unreal Engine* (TANNÚS et al., 2018).

A *Unreal* utiliza C++ como linguagem de programação. Porém, também oferece a possibilidade de desenvolvimento utilizando *Blueprints* – um sistema de programação visual (*visual scripting*) baseado em C++, para a criação de elementos de jogabilidade a partir do editor da

Figura 4.7: Modelos 3D dos animais presentes no cenário.



Fonte: Autoria própria e Tannús et al. (2018).

Unreal (EPIC GAMES, 2014). As interações do jogo, os eventos e o *gameplay*, foram desenvolvidos utilizando *Blueprints*. Já toda a parte de interpretação de comandos MQTT, comunicação com dispositivos controladores e persistência no banco de dados foi desenvolvida em C++.

Por fim, o painel de controle foi desenvolvido na linguagem C# utilizando a IDE *Visual Studio 2017*. Por meio deste painel o terapeuta cobra, altera e consulta os dados dos pacientes, configura os parâmetros gerais do jogo, seleciona o modo de jogo e os níveis que o paciente presenciará na sessão atual e configura cada desafio referente a tais níveis selecionados. Optou-se pelo desenvolvimento do painel como uma aplicação separada do jogo para que o terapeuta possa executar todo o gerenciamento, sem que o paciente precise ter acesso a informações excessivas que o prejudique na imersão e no envolvimento com as atividades do jogo. Assim, o terapeuta pode criar um protocolo de execução personalizado, configurando as sessões baseadas na necessidade terapêutica de cada paciente. O protocolo de treinamento definido é detalhado no Capítulo 5.

4.4.1 Captura de Movimentos

Como dito anteriormente, a movimentação da Harpia é executada com base nos dispositivos de entrada, configurados para o sistema. O jogo foi projetado para responder a diferentes tipos de

controladores que possuem eixos horizontais e verticais, como o *Myo* e *joysticks* convencionais.

O bracelete *Myo* foi escolhido para ser o dispositivo padrão para controle do jogo, por ser mais prático e acessível. Antes de iniciar o jogo, é preciso calibrar o dispositivo através do *driver* fornecido com ele e adequá-lo ao antebraço do paciente.

Ao iniciar, os dados de posicionamento do antebraço são capturados e enviados para o jogo, onde foi implementada uma função que captura os dados provenientes do acelerômetro do dispositivo, traduzindo os eixos horizontais e verticais em movimentos da Harpia, com o auxílio de um *plug-in* para *Unreal Engine*. Para isso, esses dados capturados são normalizados, gerando uma saída com valores padronizados entre -1 e 1. Caso o valor resultante do eixo horizontal esteja entre -1 e 0, o movimento da Harpia será para a esquerda, caso esteja entre 0 e 1, o movimento será para a direita. O mesmo vale para o eixo vertical, sendo para cima e para baixo. A precisão desses movimentos analógicos é calculada multiplicando esses valores dos eixos pela precisão informada no painel de controle, dessa forma, o terapeuta pode regular a sensibilidade dos movimentos.

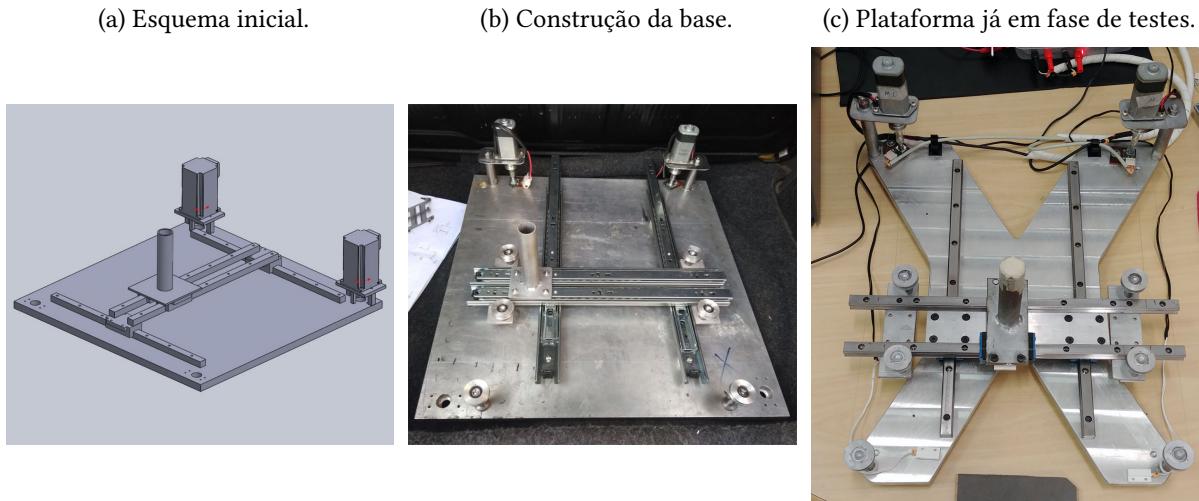
Como o protocolo de treinamento (descrito no Capítulo 5) abrange somente os movimentos nos eixos horizontal e vertical, optou-se por deixar uma velocidade constante para a Harpia. Essa velocidade também pode ser configurada através do painel de controle. Todas as animações da Harpia são acionadas de forma automática, de acordo com as ações executadas no jogo, como alçar voo quando em solo, bater as asas ao subir e descer, animações ao receber dano, dentre outras.

Entretanto, em alguns casos de AVE, o paciente possui dificuldades de manter o braço em uma posição favorável para a interação com o *Myo*. Nesses casos, o terapeuta o auxilia a executar o movimento ou o próprio paciente pode apoiar o membro afetado utilizando seu outro braço.

Para esses casos, podem ser necessários outros dispositivos de entrada que não suportam a interface padrão de eixos reconhecida pelo jogo. É possível adaptar esses outros dispositivos através de comandos MQTT, fazendo a interpretação dos movimentos por meio do desenvolvimento de interfaces específicas para cada dispositivo e as integrando ao painel de controle.

Assim, foi construído pelo Laboratório de Engenharia Biomédica (UFU), um protótipo de uma plataforma para suporte assistido, como apresenta a Figura 4.8. O objetivo é avaliar essa possibilidade de adaptação de novos dispositivos customizados no sistema.

Figura 4.8: Protótipo da plataforma de suporte assistido.



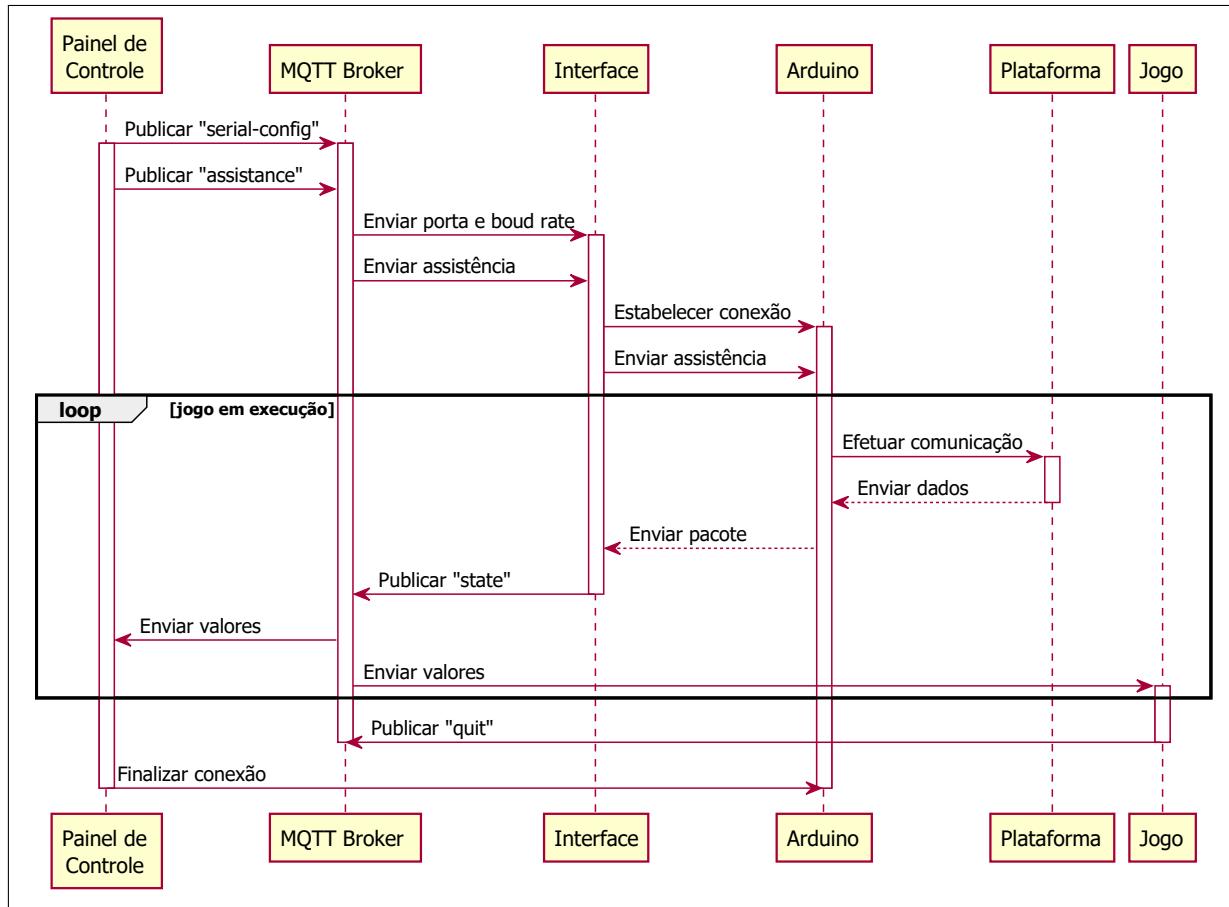
Fonte: Laboratório de Engenharia Biomédica, BioLab - UFU (2018).

Baseada no modelo *H-Man* de Campolo et al. (2014), a plataforma possui um mecanismo composto por dois motores acionados por cabos que atuam em um plano cartesiano. Nesse mecanismo o paciente executa um movimento por meio de uma haste afixada em um trilho ligado aos cabos, o que aciona os motores, fornecendo um *feedback* de assistência. O terapeuta pode configurar essa assistência de modo a gerar uma força elástica no braço do paciente, auxiliando-o na execução do movimento, ou restringir os movimentos de modo a exigir maior ativação muscular.

O acionamento dinâmico dos motores é feito por meio de um *Arduino*, que controla a movimentação nos eixos X e Y, podendo, inclusive, gerar movimentos na diagonal, aumentando seu alcance. O algoritmo desenvolvido no *Arduino* gera um pacote de saída contendo o posicionamento X e Y atual e as correntes de força geradas pelos dois motores, enviando esses dados para o computador, através de uma porta serial COM. A Figura 4.9 exibe o Diagrama de Sequência representando a comunicação com a plataforma.

Uma interface para a conexão com a plataforma foi desenvolvida e integrada ao sistema, cuja função é receber, enviar e interpretar pacotes de dados. Através da tela de configurações no painel de controle, são informadas a porta serial e a taxa de transmissão de dados (*baud rate*), relacionadas a conexão com o *Arduino*. É informado, também, o valor referente a assistência da plataforma, que varia entre -100 e 0 para aplicação de força contrária ao movimento e, entre 0 e 100, para aplicação de força assistiva ao movimento. O painel de controle publica essas informações nos tópicos MQTT “*serial-config*” e “*assistance*”. A interface, estando inscrita

Figura 4.9: Módulos da comunicação com a plataforma.



Fonte: Autoria própria.

nesses tópicos, recebe as informações e estabelece a conexão com o *Arduino*, através da porta serial informada, que, por sua vez, faz a comunicação com a *plataforma*.

O *Arduino* recebe os valores da *plataforma* e envia o pacote criado para a *interface*. Por meio do tópico MQTT “*state*”, a *interface* publica os valores recebidos do pacote já normalizados, sendo o posicionamento X e Y da *plataforma* e os valores das correntes de força. Tanto o painel de controle quanto o jogo estão inscritos no tópico “*state*”. Porém, ao receberem essas informações, o jogo utiliza somente os valores de posicionamento recebidos para realizar a movimentação da *Harpia* e o painel utiliza somente as correntes para visualização futura.

Ao finalizar o jogo, é publicado o tópico “*quit*”. O painel de controle, estando inscrito nesse tópico, identifica que o jogo foi finalizado e interrompe a comunicação da *interface* com a *plataforma*. Por meio do painel também é possível finalizar o jogo caso o terapeuta precise interromper a sessão.

4.4.2 Gerenciamento de Usuários e Configurações Gerais

O painel de controle permite o gerenciamento de pacientes e o gerenciamento de terapeutas. Na tela de gerenciamento de pacientes, é possível pesquisar pacientes já cadastrados ou criar novos cadastros. A tela é dividida em duas abas principais: “Dados Pessoais”, que permite o cadastro ou modificação de todas as informações pessoais do paciente (Figura 4.10); e “Dados Clínicos”, onde é possível efetuar o cadastro das ocorrências de AVE do paciente, bem como seu lado dominante e medicamentos em uso (Figura 4.11). Por meio dessa tela de gerenciamento, pode-se vincular um terapeuta cadastrado previamente ao paciente em questão, além da possibilidade de desativar pacientes desvinculados.

Figura 4.10: Tela para gerenciamento de pacientes – Dados pessoais.

Fonte: Autoria própria.

O botão “Salvar” tem tanto a função de armazenar e atualizar os dados do paciente no banco de dados, quanto a função de selecionar o paciente em questão para executar determinada sessão.

Figura 4.11: Tela para gerenciamento de pacientes – Dados clínicos.

Fonte: Autoria própria.

Já a tela de gerenciamento de terapeutas, tem a finalidade de cadastrar e atualizar os terapeutas que avaliam os pacientes, assim como sua especialidade, como mostra a Figura 4.12. Após o cadastro, o terapeuta estará disponível para vínculo com algum paciente.

Figura 4.12: Tela para gerenciamento de terapeutas.

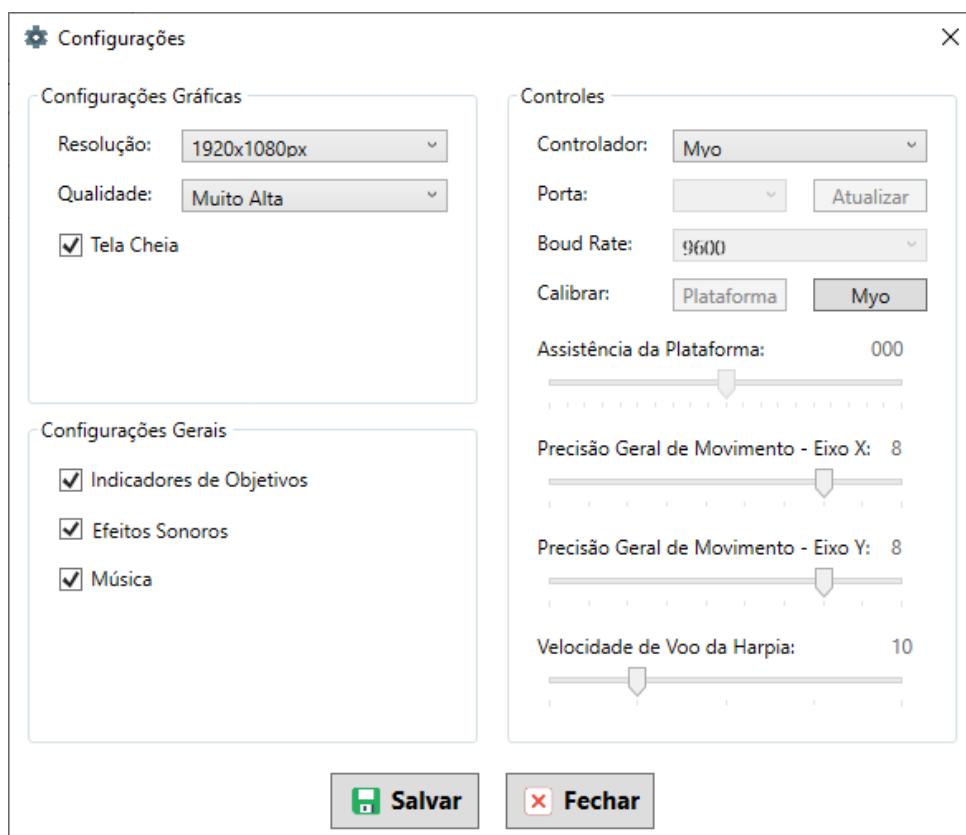
Fonte: Autoria própria.

Todas as configurações dos parâmetros relacionados ao jogo e aos dispositivos controladores são informadas através da tela mostrada na Figura 4.13. Por meio dessa tela, o terapeuta

pode escolher:

- as configurações gráficas do jogo, contendo a resolução, a qualidade gráfica e a opção de executar em tela cheia;
- as configurações gerais do jogo, que permitem ativar ou desativar a música e os efeitos sonoros, assim como os indicadores de objetivos (setas ou realces que facilitam a identificação dos desafios durante o jogo), e
- as configurações referentes ao dispositivo controlador escolhido.

Figura 4.13: Tela para gerenciamento das configurações gerais.



Fonte: Autoria própria.

Os parâmetros presentes nas configurações dos controles são habilitados ou desabilitados, de acordo com o dispositivo escolhido. Os possíveis dispositivos são: Plataforma de Suporte Assistido, *Myo*, *Joystick* e Teclado. Caso seja escolhida a plataforma, a seleção da porta serial, o botão de calibragem e o ajuste da assistência serão habilitados. Já no caso da escolha do *Myo*, serão habilitados os controles de precisão geral de movimento – onde é possível ajustar a sensibilidade de controle dos movimentos da Harpia; e o botão para calibrar o *Myo* – que abre

sua tela de calibragem. Escolhendo o *joystick* ou o teclado, as mesmas configurações do *Myo* serão habilitadas, com exceção do botão de calibragem. Esses dois últimos não são aplicáveis no processo de reabilitação, mas foram adicionados com o intuito de avaliar a flexibilidade da interface desenvolvida, além de possibilitar o controle do jogo por qualquer pessoa.

Além das configurações mencionadas, é possível ajustar a velocidade de voo da *Harpia*, podendo ser mais lenta, o que pode facilitar a execução dos objetivos pelo paciente, ou mais rápida, podendo dificultar. Ao clicar no botão “Salvar”, todos esses parâmetros são armazenados no banco de dados para a aplicação na próxima sessão.

4.4.3 Níveis e Desafios

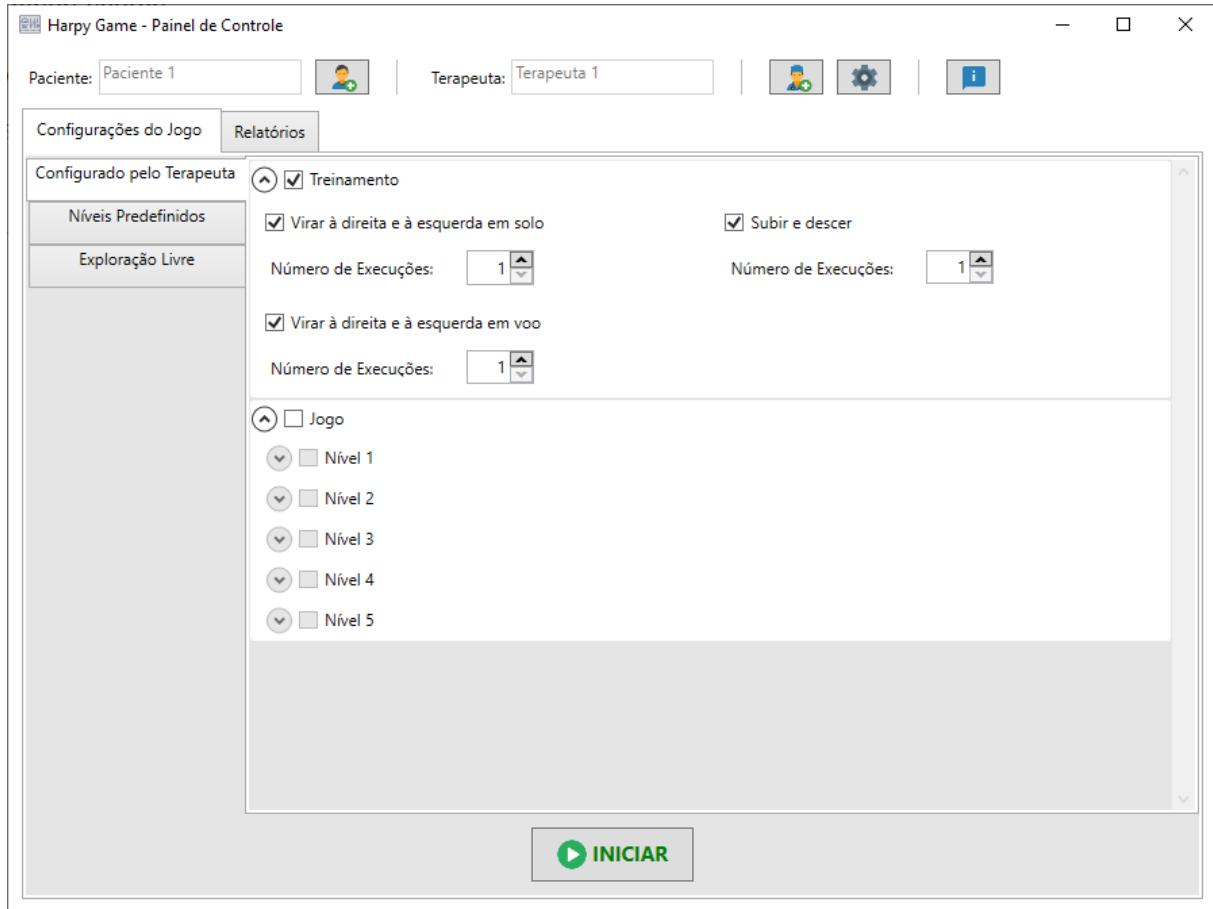
O jogo é composto por três modos e cinco níveis para a execução dos objetivos e desafios. Por meio da tela principal do painel de controle, o terapeuta escolhe um dos seguintes modos de jogo, como é mostrado na Figura 4.14:

- **Configurado pelo Terapeuta:** Nesse modo, o principal do sistema, o terapeuta tem total controle sobre o jogo. Ele irá decidir todas as características que a sessão possuirá, através da criação de um protocolo, configurando cada nível do jogo.
- **Níveis Predefinidos:** O terapeuta somente definirá se o paciente deve ou não passar por um tutorial interativo, antes da execução dos níveis, sendo realizados com suas configurações em modo padrão.
- **Exploração Livre:** O paciente não irá executar nenhum desafio no cenário. Este modo tem a finalidade de expor o paciente ao cenário para que ele navegue livremente sob a supervisão do terapeuta.

Ao selecionar o modo “Configurado pelo Terapeuta”, é possível selecionar os níveis que irão compor o jogo. Antes do primeiro nível, o paciente pode executar um tutorial interativo no ambiente virtual (treinamento inicial), cujo o objetivo é ensinar os movimentos básicos da *Harpia*. Esse tutorial pode ser ativado selecionando o menu “Treinamento”, como é indicado na Figura 4.14.

Durante o tutorial interativo, o paciente deve executar movimentos de virar à esquerda e à direita, com a *Harpia* andando no solo. No processo de reabilitação, esses dois movimentos correspondem às atividades de rotação interna e externa do ombro. Logo após, será indicado

Figura 4.14: Tela principal do painel de controle no modo “Configurado pelo Terapeuta”.



Fonte: Autoria própria.

para o paciente inclinar o braço para cima, fazendo a Harpia alçar voo. Em seguida, devem ser executados também os movimentos de subir e descer com a Harpia, sendo esses dois movimentos correspondentes às atividades de flexão e extensão do cotovelo. Todos esses movimentos podem, ou não, ser selecionados pelo terapeuta, sendo executados na quantidade de vezes definida no campo “Número de Execuções”. A Figura 4.15 apresenta o tutorial interativo em execução.

Na tela, são mostradas setas indicando a direção que o paciente deve inclinar o braço. Cada seta possui uma cor que varia entre vermelho e verde, o que indica o quanto a Harpia está sendo inclinada. Enquanto o braço do paciente estiver em posição de repouso, a seta ficará completamente verde e a Harpia somente se movimentará para frente. Quando o paciente inclinar o braço para alguma direção, a seta correspondente mudará gradativamente de cor, representando o grau de inclinação exercido.

Figura 4.15: Tutorial interativo em execução.

(a) Movimento de virar à direita em solo sendo executado.



(b) Movimento de subir durante o voo sendo executado.

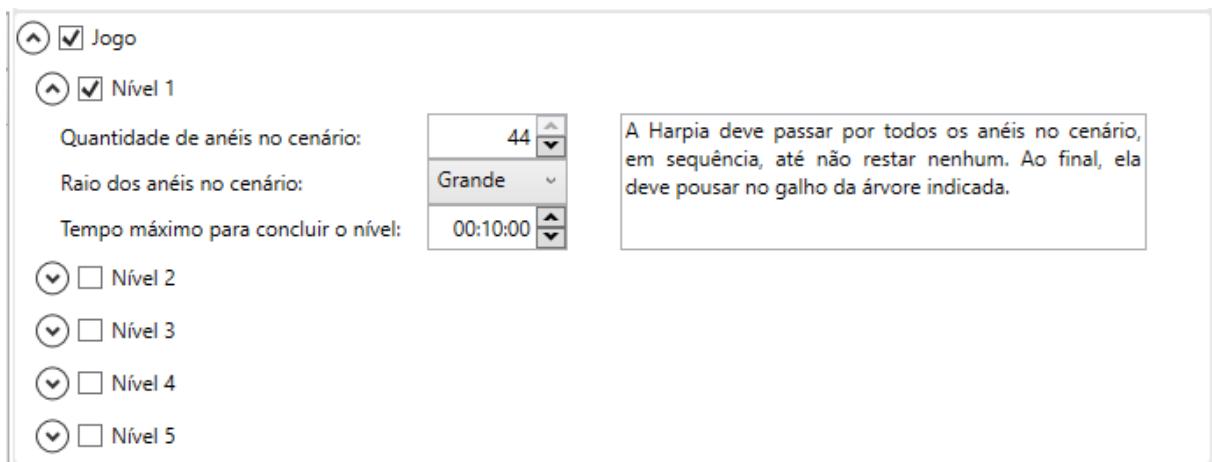


Fonte: Autoria própria.

No primeiro nível, o paciente deve controlar a Harpia de modo a passar por diversos anéis dispostos em sequência no ambiente. Através do menu desdobrável no painel de controle, o terapeuta seleciona o nível e configura a quantidade e o raio dos anéis que irão compor o cenário, sendo grande, médio ou pequeno.

Nesse nível, bem como em todos os outros, é possível informar o tempo máximo para a conclusão. O nível é dado como concluído quando o paciente passar com a Harpia por todos os anéis ou quando o tempo máximo for atingido. O terapeuta pode optar por não informar um tempo máximo, dessa forma, o nível somente será concluído quando todos os objetivos forem cumpridos. A Figura 4.16 exibe a configuração do primeiro nível e a Figura 4.17 mostra sua execução.

Figura 4.16: Configuração de objetivos no painel de controle (Nível 1).



Fonte: Autoria própria.

Figura 4.17: Execução dos objetivos – Harpia passando pelos anéis (Nível 1).



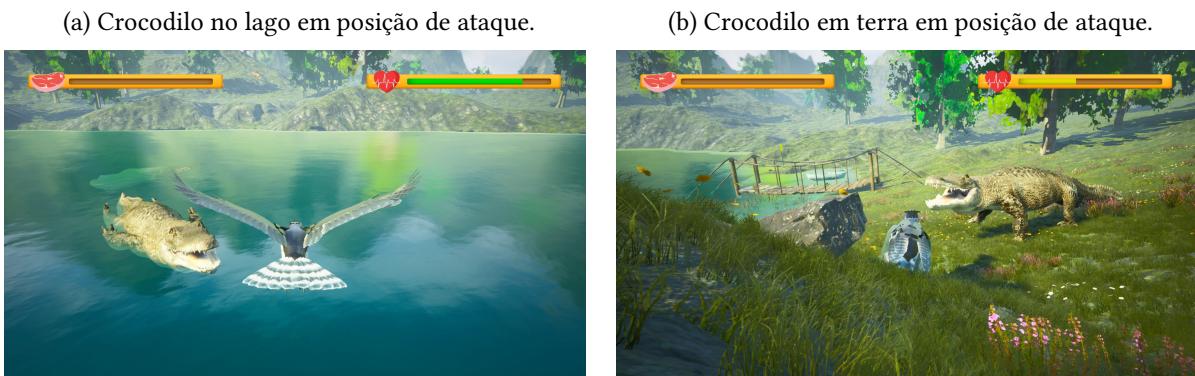
Fonte: Autoria própria.

No jogo, é mostrada uma barra de progresso no canto esquerdo da tela, que indica a quantidade de anéis ultrapassados. Caso o terapeuta tenha configurado um tempo limite para a conclusão do nível, um cronômetro é apresentado na parte superior da tela. Os eventos de ultrapassagem de anéis são salvos no banco de dados, em tempo de execução, como desafios concluídos, assim como o tempo gasto em cada ultrapassagem.

A partir desse nível, o paciente já executa todos os movimentos previstos no protocolo de treinamento do jogo, sendo rotação interna e externa do ombro e flexão e extensão do cotovelo.

Avançando para o segundo nível, o objetivo é procurar e capturar 5 peixes no lago, evitando passar muito tempo na água. Nesse nível, existem dois crocodilos que estarão nadando próximo aos peixes ou andando às margens do lago. Caso a Harpia se aproxime de algum deles, o modo de ataque será ativado, o que ocasionará em perda de vida, como mostra a Figura 4.18.

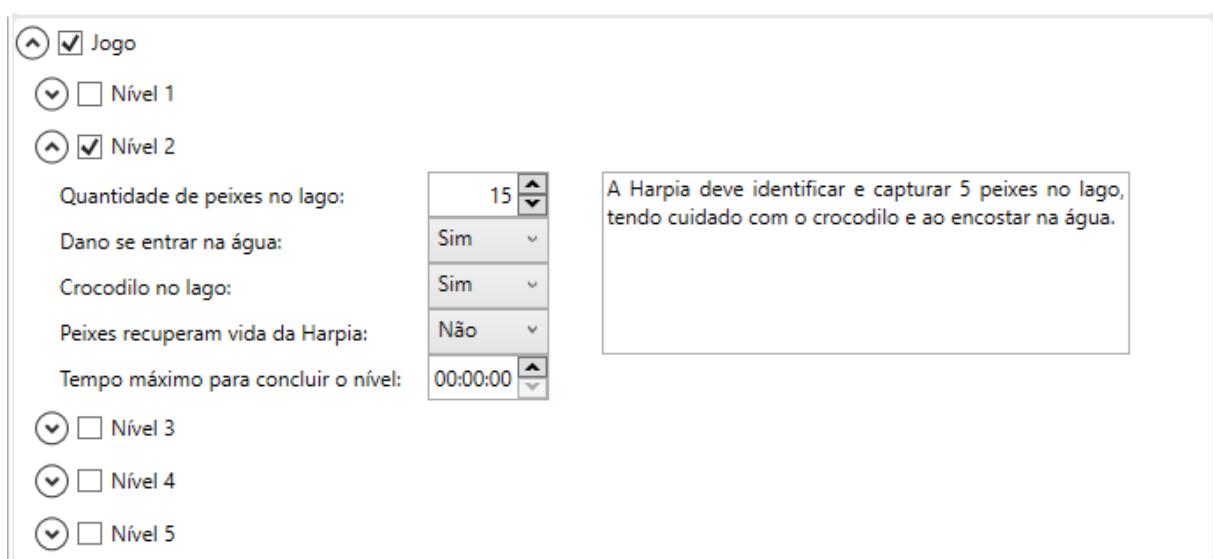
Figura 4.18: Interação com os crocodilos no nível 2.



Fonte: Autoria própria.

No painel de controle, é possível informar a quantidade de peixes que estarão dispostos pelo lago, assim como escolher se o ato de deixar a Harpia entrar na água influenciará na perda de vida. É possível, também, ativar e desativar os crocodilos através de uma opção no painel, assim como permitir que os peixes capturados recuperem uma porcentagem de vida da Harpia. O nível é dado como concluído quando o paciente capturar os 5 peixes, ou quando o tempo máximo, caso informado, for atingido. A Figura 4.19 exibe a configuração do nível 2 e a Figura 4.20 mostra sua execução.

Figura 4.19: Configuração de objetivos no painel de controle (Nível 2).



Fonte: Autoria própria.

A barra de progresso no canto esquerdo da tela, mostra a quantidade de peixes capturados. Já a barra no canto direito, mostra a porcentagem da vida da Harpia. Os eventos de pesca de

peixes são salvos no banco de dados como desafios concluídos. Da mesma forma, os eventos caracterizados por danos, seja pela água ou pelos crocodilos, também são salvos no banco.

Figura 4.20: Execução dos objetivos – Harpia capturando peixes no lago (Nível 2).



Fonte: Autoria própria.

Como dito anteriormente, é possível mostrar no jogo, indicadores de objetivos por meio de uma opção na tela de configurações gerais. O acionamento dessa opção habilitará setas vermelhas que indicam o posicionamento dos peixes, a fim de facilitar sua captura. A Figura 4.21 mostra o nível 2 com os peixes sendo apontados por essas setas.

Figura 4.21: Setas apontando a localização dos peixes no nível 2.

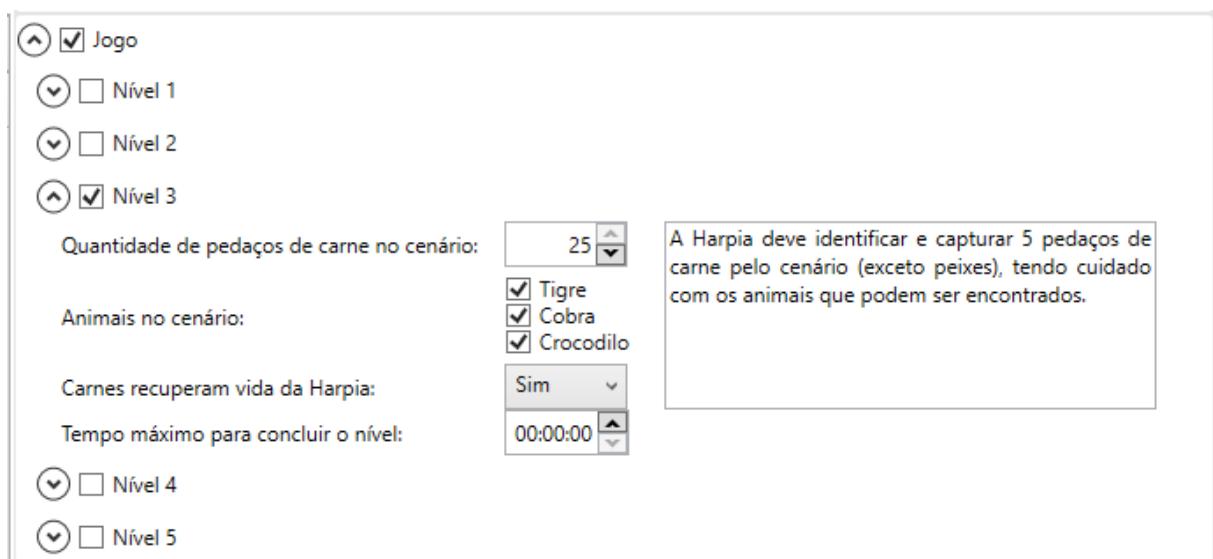


Fonte: Autoria própria.

O nível 3 possui o objetivo de procurar e capturar 5 pedaços de carne (ou carniças) que estão espalhados pelo cenário, tendo cuidado com os outros animais que podem ser encontrados. Esse nível já possui todos os tipos de animais modelados para o jogo, sendo tigres, cobras e crocodilos. A aproximação da Harpia fará com que eles ativem o modo de ataque, ocasionando em perda de vida. A porcentagem de vida perdida depende do tipo de animal que a atacou, ou seja, cada um dos tipos possui um fator de dano diferente. No painel de controle, é possível informar a quantidade de pedaços que estarão espalhados pelo cenário, assim como escolher se as carnes capturadas recuperarão a vida da Harpia. Também é possível ativar ou desativar os três tipos de animais, para que eles não apareçam próximos aos pedaços. O nível é dado como concluído quando o paciente capturar os 5 pedaços de carne ou quando o tempo máximo, se informado, for atingido. A Figura 4.22 exibe a configuração do nível 3 e a Figura 4.23 mostra sua execução.

Da mesma forma que nos outros níveis, é possível observar as barras de progresso do nível e de porcentagem de vida da Harpia. Os eventos de captura de carnes são salvos no banco de dados como desafios concluídos, assim como os eventos caracterizados pelos danos, que são salvos de acordo com cada categoria.

Figura 4.22: Configuração de objetivos no painel de controle (Nível 3).



Fonte: Autoria própria.

Figura 4.23: Execução dos objetivos – Harpia se aproximando de um pedaço de carne e um tigre próximo (Nível 3).



Fonte: Autoria própria.

Nesse nível, a opção de indicadores de objetivos, tem como resultado realces em formato circular com o objetivo de facilitar a captura das carnes. A Figura 4.24 mostra o nível 3 com os pedaços de carne sendo realçados.

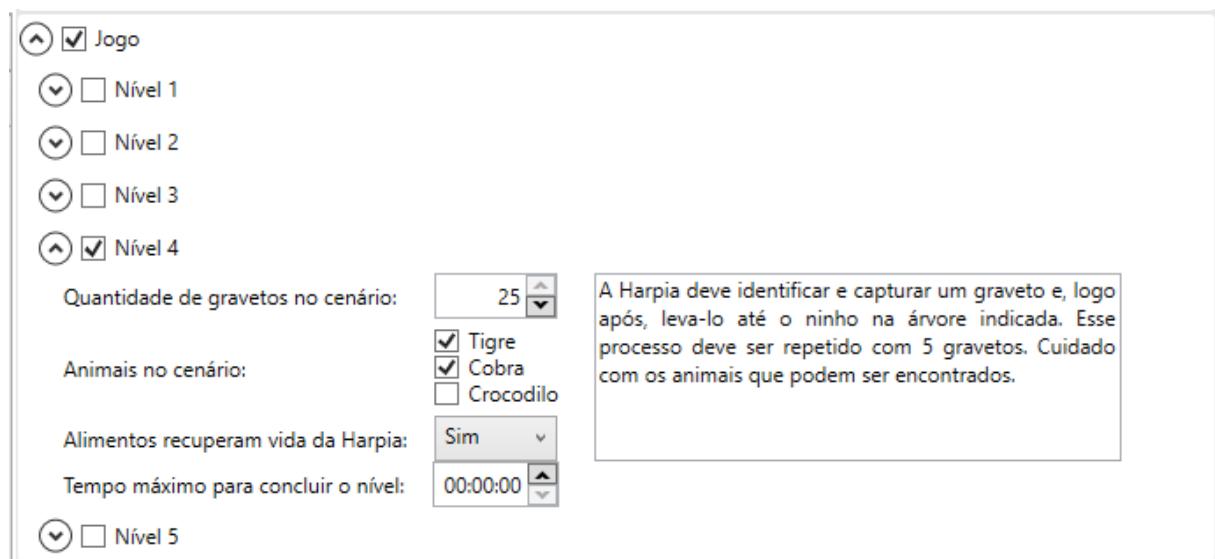
Figura 4.24: Carne indicada com realce facilitando sua localização.



Fonte: Autoria própria.

No nível 4, a Harpia precisa construir seu ninho. Para isso, o paciente deve guiá-la pelo cenário afim de identificar e capturar alguns tipos de gravetos que estão espalhados pelo solo e, logo em seguida, levá-los até a árvore indicada para construir seu ninho. Devem ser capturados 5 gravetos e carregados separadamente para o ninho, até que o mesmo fique completo. A Figura 4.25 exibe a configuração do nível 4 e a Figura 4.26 mostra sua execução.

Figura 4.25: Configuração de objetivos no painel de controle (Nível 4).



Fonte: Autoria própria.

Figura 4.26: Execução dos objetivos – Harpia se aproximando de um galho para capturá-lo. Os realces dos galhos são alaranjados para diferenciar os das carnes (Nível 4).

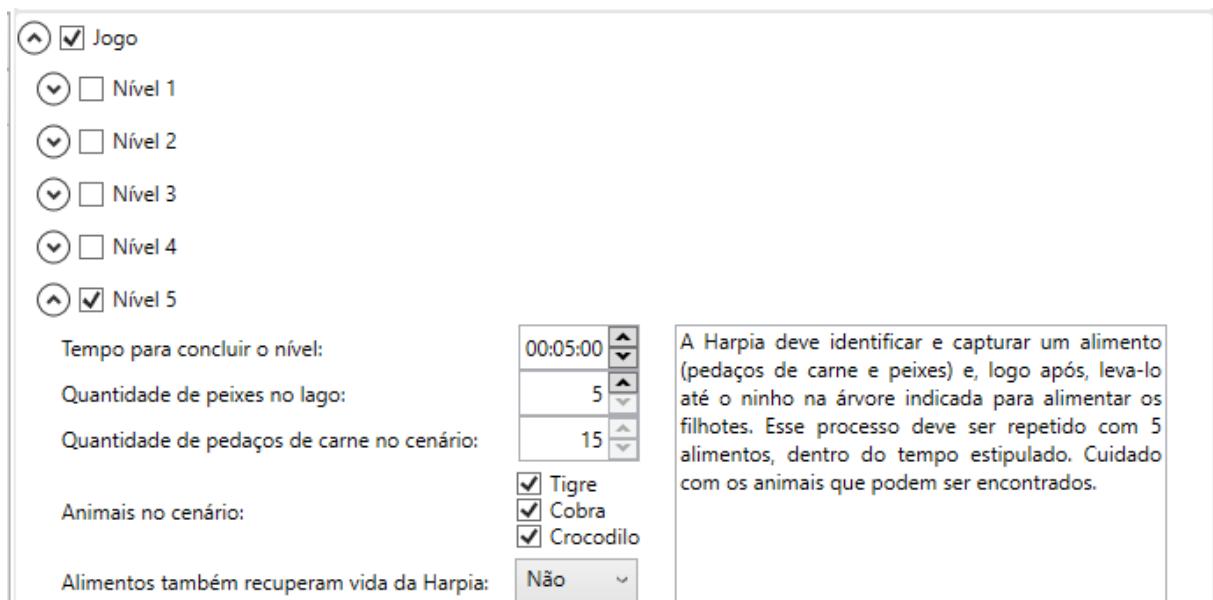


Fonte: Autoria própria.

Através do painel de controle é possível indicar a quantidade de gravetos que estarão espalhados pelo cenário, assim como os tipos de animais que estarão presentes no nível. Pode-se escolher, também, se os alimentos espalhados pelo cenário possuirão a capacidade de recuperação de vida. O nível será dado como concluído quando o ninho estiver totalmente concluído, ou quando o tempo máximo, se informado, for atingido.

Por fim, no quinto e último nível, a Harpia já possui filhotes e precisa alimentá-los. Assim, o paciente deve identificar e capturar um alimento, podendo ser pedaços de carne ou peixes, e, logo em seguida, levá-lo até o ninho da árvore indicada, onde estão seus filhotes. Esse processo deve ser repetido com 5 tipos de alimentos, dentro do tempo estipulado, tendo cuidado ao se aproximar dos predadores. O painel de controle permite a configuração do tempo máximo para conclusão, da quantidade de peixes no lago, da quantidade de pedaços de carne espalhados pelo cenário, dos possíveis animais encontrados próximos aos alimentos e da opção para permitir a recuperação de vida através da captura dos alimentos. O nível será dado como concluído quando os filhotes forem alimentados com os 5 tipos de alimentos. Nesse nível, caso o tempo máximo for atingido, o mesmo será reiniciado. A Figura 4.27 exibe a configuração do nível 5 e a Figura 4.28 mostra sua execução.

Figura 4.27: Configuração de objetivos no painel de controle (Nível 5).



Fonte: Autoria própria.

Figura 4.28: Execução dos objetivos – Harpia procurando por alimentos. Ao fundo, a árvore indicada em amarelo (Nível 5).



Fonte: Autoria própria.

4.5 Considerações Finais

Neste capítulo, a estrutura para a construção do jogo sério foi apresentada, bem como a modelagem e a arquitetura de todos os componentes do sistema, demonstrando seu fluxo de execução e cada uma de suas funcionalidades. O desenvolvimento do sistema também foi abordado, evidenciando todos os estágios de sua construção e os métodos de desenvolvimento utilizados em cada componente. Toda a interface gráfica também foi apresentada, elucidando a jogabilidade e todo o progresso do jogo sério. O próximo capítulo apresenta a metodologia de avaliação utilizada e descreve o protocolo de treinamento criado para a validação do sistema.

Capítulo 5

Metodologia de Avaliação do Sistema

5.1 Introdução

Nesse capítulo, são apresentados a metodologia utilizada nos testes e o protocolo de treinamento, especificando os métodos utilizados para a avaliação do sistema e como o treinamento foi executado.

5.2 Metodologia dos Testes

Os testes de validação do sistema foram feitos na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), campus Santa Mônica. Todos os participantes da pesquisa e responsáveis pela instituição tiveram conhecimento dos procedimentos do estudo e assinaram o termo de livre consentimento. A pesquisa foi aprovada pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa, com Certificado de Apresentação para Apreciação Ética de número 318.960.

Este estudo é caracterizado como estudo clínico experimental, o qual foi amplamente divulgado pelos meios de comunicação, principais canais abertos de televisão local e internet, obtendo assim, notoriedade e interesse da comunidade em geral.

Todos os interessados foram encaminhados à Universidade Federal de Uberlândia, no Núcleo de Tecnologia Assistiva (NTA). Para participar da pesquisa, os voluntários tiveram que atender a todos os critérios de elegibilidade exigidos:

1. Ter sofrido acidente vascular encefálico isquêmico ou hemorrágico com acometimento nos hemisférios cerebrais direito ou esquerdo, documentado por tomografia computadorizada ou ressonância magnética.

2. Possuir sinais clínicos de hemiparesia ou hemiplegia com comprometimento de membro superior.
3. Apresentar espasticidade de flexores do cotovelo.
4. Não apresentar acometimentos visuais e auditivos graves.
5. Não apresentar outras doenças musculoesqueléticas ou neurodegenerativas associadas.
6. Não apresentar déficit cognitivo ou psicomotor.
7. Não fazer uso de medicamentos com influência no tônus muscular a no mínimo 6 meses e/ou no estado de vigília.
8. Apresentarem-se clinicamente estáveis.
9. Ter assinado o termo de consentimento livre e esclarecido.

Após avaliação e verificação dos critérios de elegibilidade, 6 participantes foram selecionados para a execução dos testes. As principais características desses voluntários são mostradas na Tabela 5.1

Tabela 5.1: Características gerais dos participantes da pesquisa.

Participante	Sexo	Idade (anos)	Tipo de AVE	Lado Comprometido	Tempo de Lesão (meses)	Apoio Assistido
A	F	35	Isquêmico	Esquerdo	8	Sim
B	M	55	Isquêmico	Direito	26	Sim
C	F	73	Isquêmico	Esquerdo	53	Não
D	M	70	Isquêmico	Direito	108	Não
E	M	58	Isquêmico	Direito	120	Não
F	M	61	Isquêmico	Direito	24	Não

Os pacientes selecionados têm entre 35 e 73 anos e possuem AVE do tipo isquêmico. O tempo de lesão dos pacientes varia de 8 meses a 10 anos. Dois desses participantes possuem maior dificuldade em manter o braço posicionado adequadamente. Os mesmos necessitaram de um apoio assistido, dessa forma, utilizaram o braço contralateral para auxílio do membro afetado.

5.2.1 Protocolo de Treinamento

Todos os participantes do estudo foram avaliados antes do início da primeira sessão e ao final da última. Em seguida, com o intuito de motivar o mesmo a continuar melhorando suas habilidades no jogo, foi definido um protocolo de treinamento onde a dificuldade do jogo é aumentada gradativamente pelo terapeuta, sem desestimular o paciente. Nesse protocolo, a medida que o participante evolui no jogo, concluindo os níveis com maior facilidade, o terapeuta modifica os parâmetros de cada nível para as próximas execuções.

No protocolo, diversos parâmetros são alterados ao longo das execuções, sendo eles: tempo estipulado para execução de cada nível; tamanho dos anéis no primeiro nível; velocidade de voo da Harpia; desafios a serem superados em cada nível; dano na Harpia causado pelos desafios do cenário; precisão dos movimentos do controlador; recuperação de vida da Harpia ao capturar alimentos e a presença dos outros animais no cenário. Os parâmetros modificados no protocolo criado são mostrados na Tabela 5.2, estando organizados em níveis de dificuldade, do mais fácil ao mais difícil (D1 a D5).

É fundamental observar a motivação dos pacientes. Assim, o protocolo pode sofrer alterações, como por exemplo, quando o paciente está se sentindo muito cansado, o tempo de envolvimento no jogo é reduzido. Foram, então, definidos tempos menores nas primeiras sessões e, a medida que o terapeuta identifica que o paciente já consegue concluir maior quantidade de desafios, o tempo máximo é aumentado.

Outro parâmetro que pode sofrer alterações é a precisão dos controles, sendo aumentada ou diminuída dependendo do grau de dificuldade do movimento exercido.

Foi necessário diminuir a velocidade da Harpia nas últimas sessões devido ao nível de dificuldade dos outros parâmetros, como tamanho dos anéis e animais no cenário. Assim, o paciente consegue observar a localização dos objetivos com maior facilidade.

O propósito do jogo é ser adaptável a qualquer perfil de paciente, sendo totalmente configurável, dessa forma, o protocolo definido é uma sugestão para a aplicação clínica e terapêutica, ficando a cargo do terapeuta avaliar se esse é ou não o melhor a ser utilizado em cada paciente.

Tabela 5.2: Parâmetros modificados ao longo do treinamento.

Variável	Parâmetro	Nível	D1	D2	D3	D4	D5
Tempo	0 a 30 minutos	1	10	15	20	20	30
		2	10	10	10	10	10
		3	10	15	15	15	15
Tamanho dos anéis	Grande						
	Médio	1	Grande	Grande	Grande	Médio	Pequeno
	Pequeno						
Velocidade da Harpia	0 a 25	Todos	10	15	20	15	10
	44/33/22 anéis	1	44	44	44	22	44
	5 peixes	2	5	5	5	5	5
Desafios a superar	5 carnes	3	5	5	5	5	5
	Sim	2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Não	3	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Precisão dos controles	1 a 10	Todos	9	8	7	7	7
	Sim	2	Sim	Sim	Não	Não	Não
	Não	3	Sim	Sim	Não	Não	Não
Animais no cenário	Sim	2	Não	Não	Sim	Sim	Sim
	Não	3	Não	Não	Sim	Sim	Sim

5.2.2 Definição dos Métodos de Avaliação

Os métodos de avaliação envolveram análises quantitativas e qualitativas. A análise quantitativa foi baseada no protocolo de treinamento, por meio das seguintes avaliações:

Porcentagem de desafios superados pelo paciente durante o jogo: Avaliação da quantidade de desafios superados em cada nível executado pelos pacientes, mostrando sua evolução durante o jogo.

Parâmetros modificados por paciente: Avaliação dos parâmetros modificados em cada sessão para cada paciente, afim de justificar seu progresso no jogo em cada caso.

Tempo gasto para conclusão dos níveis: Avaliação do tempo gasto pelos pacientes em cada nível, mostrando sua adaptação a medida que os desafios são dificultados.

Já a análise qualitativa foi baseada em questionários aplicados aos pacientes após as sessões, sendo eles:

Questionário de Usabilidade do Sistema (SUS): Um dos métodos mais confiáveis para averiguação do nível de usabilidade de um sistema é o *System Usability Scale* (SUS). Originalmente criado por Brooke em 1986, o SUS é composto por dez perguntas, cada uma com cinco opções de resposta, as quais variam de “concordo fortemente” a “discordo fortemente”. Os critérios que o SUS ajuda a avaliar são: a efetividade (os usuários conseguem completar seus objetivos?), a eficiência (quanto esforço e recursos são necessários para isso?) e a satisfação (a experiência foi satisfatória?) (BROOKE, 1996; SAURO, 2011).

Questionário de Avaliação de Ambientes Virtuais (QAAV): O QAAV é dividido em dois grupos de perguntas, um para avaliação da motivação e um para avaliação da experiência do usuário durante o jogo, cada um composto por diversas perguntas (LYRA, 2016). Cada pergunta também possui cinco opções de resposta, as quais variam de “concordo fortemente” a “discordo fortemente”. Diferentemente do SUS, as respostas do QAAV são avaliadas individualmente, já que não existe uma padronização para avaliação das respostas (HUANG, W. H.; HUANG, W. Y.; TSCHOPP, 2010; JENNETT et al., 2008; LYRA, 2016).

5.2.3 Execução do Treinamento

Para esse estudo, foram avaliadas 6 sessões para cada paciente, onde cada um executou somente os níveis de 1 a 3 sequencialmente, afim de simplificar os testes e evitar fadiga excessiva nos mesmos. Antes de iniciar as sessões, os pacientes executaram o tutorial interativo presente no jogo e receberam do terapeuta todas as instruções e informações necessárias.

Como abordado no Capítulo 4, cada sessão do jogo corresponde a um período contínuo de atividade, onde o paciente atua nos 3 níveis escolhidos. Cada sessão completa feita pelo paciente é chamada de execução. Em cada sessão, o paciente passa pelos desafios propostos nos níveis, que podem ser eventos de superação de desafios ou eventos prejudiciais, que decrementam a vida da Harpia e podem implicar na reinicialização do nível. Cada reinicialização é definida como uma nova tentativa.

Todo o treinamento foi executado utilizando o acelerômetro do bracelete Myo, sendo colocado no antebraço afetado dos pacientes. Como dito anteriormente, dois dos pacientes utili-

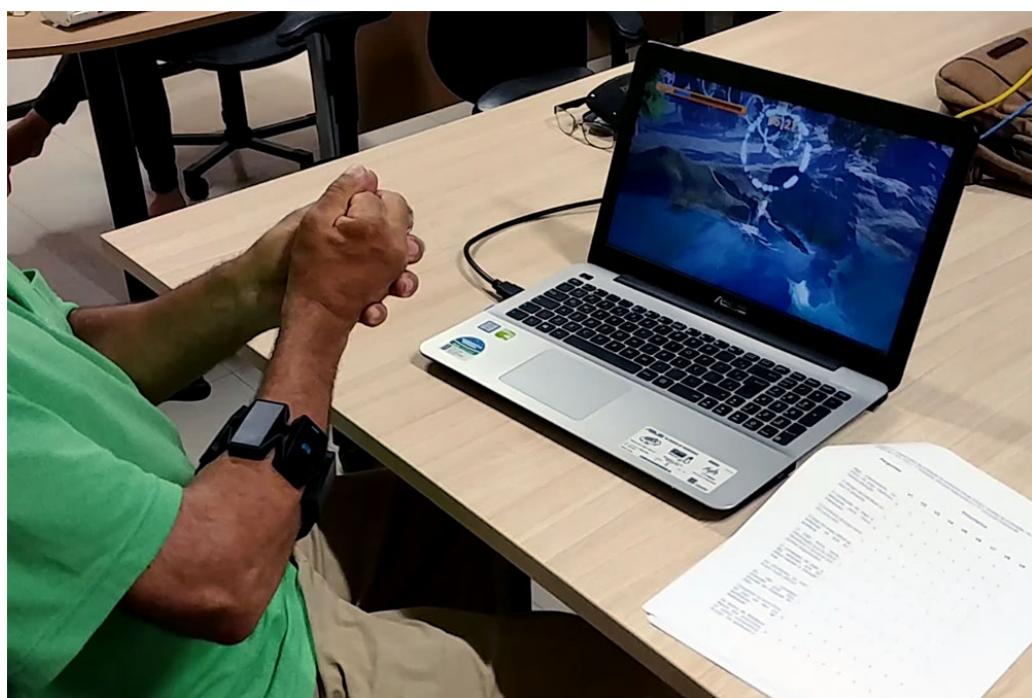
zaram o braço contralateral para auxílio do membro afetado, pois possuem maior dificuldade em manter o braço posicionado adequadamente. A Figura 5.1 mostra a execução do jogo por pacientes utilizando o Myo.

Figura 5.1: Jogo sendo controlado através do Myo.

(a) Paciente executando uma sessão sem o auxílio do braço contralateral.



(b) Paciente executando uma sessão com o auxílio do braço contralateral.



Fonte: Autoria própria.

Após as sessões, foi feita a extração dos resultados gerados pelo sistema para compor os relatórios, juntamente com a avaliação dos resultados dos questionários preenchidos pelos participantes com o auxílio do terapeuta. Os dados foram coletados no Núcleo de Tecnologia Assistiva (UFU) e analisados com o intuito de verificar o potencial de aplicação do jogo sério e sua aceitação pelos pacientes.

5.3 Considerações Finais

Nesse capítulo, a metodologia utilizada na avaliação do sistema foi abordada, além da construção do protocolo de treinamento. Os métodos utilizados para avaliação do sistema e execução do treinamento foram também elucidados. O próximo capítulo descreve seu processo de validação, juntamente com os resultados obtidos na aplicação do sistema em pacientes pós-AVE.

Resultados e Discussão

6.1 Introdução

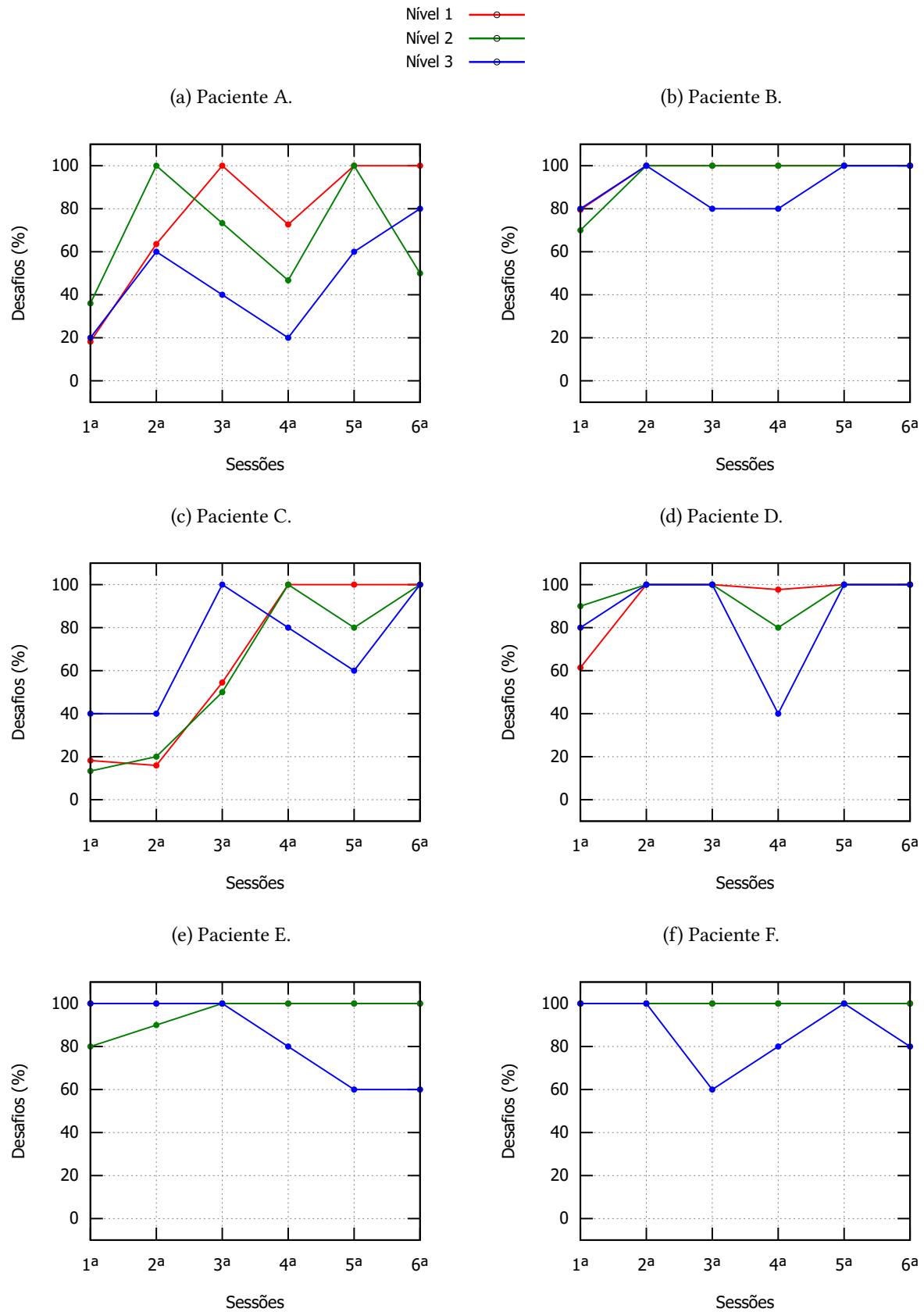
Nesse capítulo, são apresentados os resultados obtidos na avaliação do sistema, com o intuito de validar a metodologia de testes proposta e o protocolo utilizado. Os métodos avaliativos aplicados no treinamento são discutidos, analisando-os quantitativamente e qualitativamente.

6.2 Avaliação do Treinamento

Com o objetivo de mostrar a aceitação e o nível de adaptabilidade dos pacientes com relação à quantidade de desafios superados, foram elaborados 6 gráficos referentes aos desafios superados em cada nível executado pelos pacientes. A Figura 6.1 apresenta os gráficos em questão. É preciso considerar que cada nível possui uma quantidade diferente de desafios, um exemplo disso é que, no nível 1, é possível passar por até 44 anéis, ao passo que no nível 2 pode-se capturar até 5 peixes. Tendo esse fato em mente, a quantidade de desafios foi normalizada de 0% a 100%, para efeitos de comparação.

Através desses gráficos, foi possível perceber que os níveis 2 e 3 apresentaram uma grande oscilação durante a execução. Isso se deve ao fato do aumento gradativo da dificuldade ao longo das sessões. Os níveis 2 e 3 possuem grande semelhança em seus objetivos, porém, o nível 3 torna-se mais difícil pela quantidade de inimigos próximos aos alimentos a serem coletados.

Figura 6.1: Desafios Superados.



Fonte: Autoria própria.

Como explicado anteriormente, no protocolo definido, o terapeuta modifica os parâmetros de cada nível à medida que o paciente evolui no jogo. Assim, para auxiliar na avaliação dos resultados, os principais parâmetros alterados em cada sessão foram organizados nas Tabelas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6, cada uma correspondente a cada um dos gráficos apresentados na 6.1, a fim de justificar o progresso dos pacientes no jogo em cada caso.

Tabela 6.1: Modificação de parâmetros por sessão – Paciente A.

Sessão	Precisão	Velocidade	Tamanho dos Anéis	Animais
1	9	15	Grande	Não
2	9	15	Grande	Não
3	8	15	Grande	Sim
4	8	15	Grande	Sim
5	8	15	Grande	Sim
6	8	15	Grande	Não

Tabela 6.2: Modificação de parâmetros por sessão – Paciente B.

Sessão	Precisão	Velocidade	Tamanho dos Anéis	Animais
1	8	15	Grande	Não
2	8	15	Grande	Sim
3	8	15	Grande	Sim
4	8	15	Médio	Sim
5	8	15	Médio	Não
6	8	20	Médio	Sim

Tabela 6.3: Modificação de parâmetros por sessão – Paciente C.

Sessão	Precisão	Velocidade	Tamanho dos Anéis	Animais
1	9	15	Grande	Não
2	9	15	Grande	Não
3	8	15	Grande	Sim
4	8	15	Grande	Sim
5	8	15	Grande	Sim
6	8	15	Grande	Sim

Tabela 6.4: Modificação de parâmetros por sessão – Paciente D.

Sessão	Precisão	Velocidade	Tamanho dos Anéis	Animais
1	9	15	Grande	Sim
2	8	15	Grande	Sim
3	8	15	Grande	Sim
4	8	15	Médio	Não
5	8	15	Grande	Sim
6	8	15	Médio	Não

Tabela 6.5: Modificação de parâmetros por sessão – Paciente E.

Sessão	Precisão	Velocidade	Tamanho dos Anéis	Animais
1	9	15	Grande	Sim
2	8	15	Grande	Sim
3	8	15	Médio	Sim
4	7	15	Médio	Não
5	7	15	Grande	Não
6	8	15	Médio	Sim

Tabela 6.6: Modificação de parâmetros por sessão – Paciente F.

Sessão	Precisão	Velocidade	Tamanho dos Anéis	Animais
1	8	15	Grande	Não
2	8	15	Grande	Sim
3	8	15	Médio	Sim
4	7	20	Médio	Sim
5	8	15	Médio	Não
6	8	20	Médio	Sim

Fazendo a correlação entre as tabelas e os gráficos, é possível observar que, na maioria dos pacientes, existe uma evolução significativa até a terceira sessão. Logo após, existe uma queda na porcentagem de desafios concluídos, principalmente no nível 3. Isso se deve ao fato da modificação dos parâmetros para os pacientes que se adaptaram bem nas primeiras sessões, como a inclusão de animais no cenário.

É importante salientar que os pacientes que não se sentem confiantes durante o nível 3, escolhem os pedaços de carne que não estão protegidos pelos animais. Já os mais confiantes,

mesmo sabendo que poderão sofrer danos, escolhem também os pedaços que estão próximos aos animais. Para esses casos, o parâmetro que define a existência dos animais no cenário foi mantido.

Por meio da análise, observou-se, também, que a maioria dos pacientes possuem maiores dificuldades em capturar alimentos sem sofrer ataques dos inimigos no nível 3. Isso indica que ao se aproximar dos alimentos, é necessária maior precisão e agilidade para capturá-los. A velocidade da Harpia e a precisão dos controles são fatores que implicaram fortemente nesses casos.

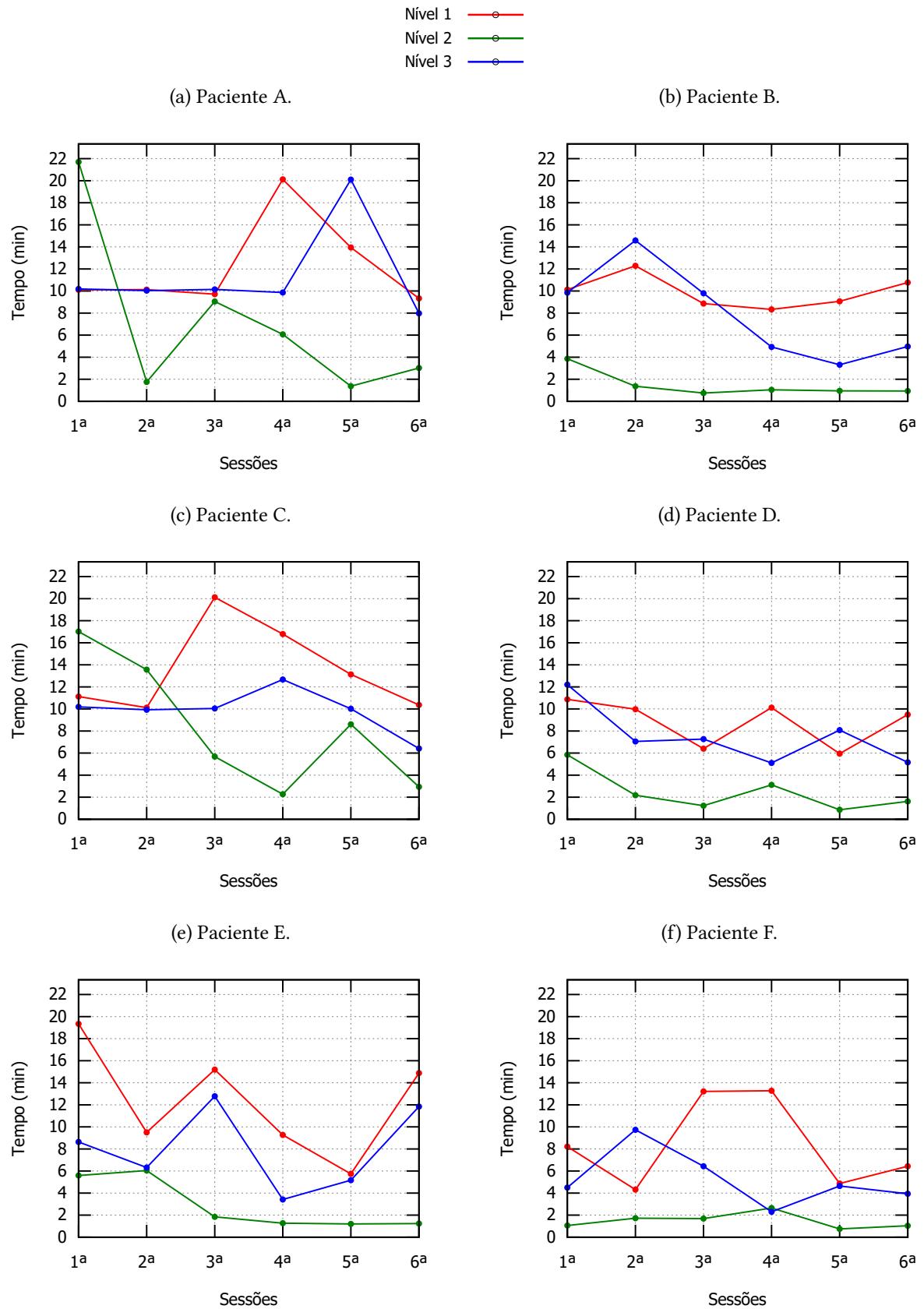
De modo geral, os parâmetros foram dificultados com maior frequência durante as sessões dos pacientes que mantiveram um bom nível de adaptação e aprendizado. Da mesma forma, para os pacientes que apresentaram mais dificuldades na execução dos desafios, os parâmetros mais fáceis foram mantidos.

Assim, é possível perceber que, mesmo alterando a dificuldade dos níveis, no geral, os pacientes mantiveram o interesse e a motivação em continuar jogando, superando os desafios propostos ao longo das sessões.

Para analisar o tempo gasto para conclusão dos níveis ao longo das sessões, foram elaborados os gráficos apresentados na Figura 6.2. O tempo total da execução foi considerado na análise, assim, quando o nível é reiniciado devido a eventos que causaram danos na Harpia, esse tempo continuará em execução. É importante ressaltar que a variável tempo (cronômetro) definida no painel de controle se difere do tempo total de execução do jogo.

A partir desses gráficos, observa-se que o tempo para conclusão dos níveis foi diminuindo, mesmo apresentando muitas oscilações. Tais oscilações se devem ao fato de que, quando um paciente consegue executar um nível em menos tempo, os parâmetros são alterados e os desafios dificultados. Isso pode ser percebido nos gráficos através do aumento do tempo gasto entre determinadas sessões. Porém, esse tempo é, logo em seguida, diminuído devido à adaptação do paciente com os novos parâmetros.

Figura 6.2: Tempo para conclusão dos níveis.



Fonte: Autoria própria.

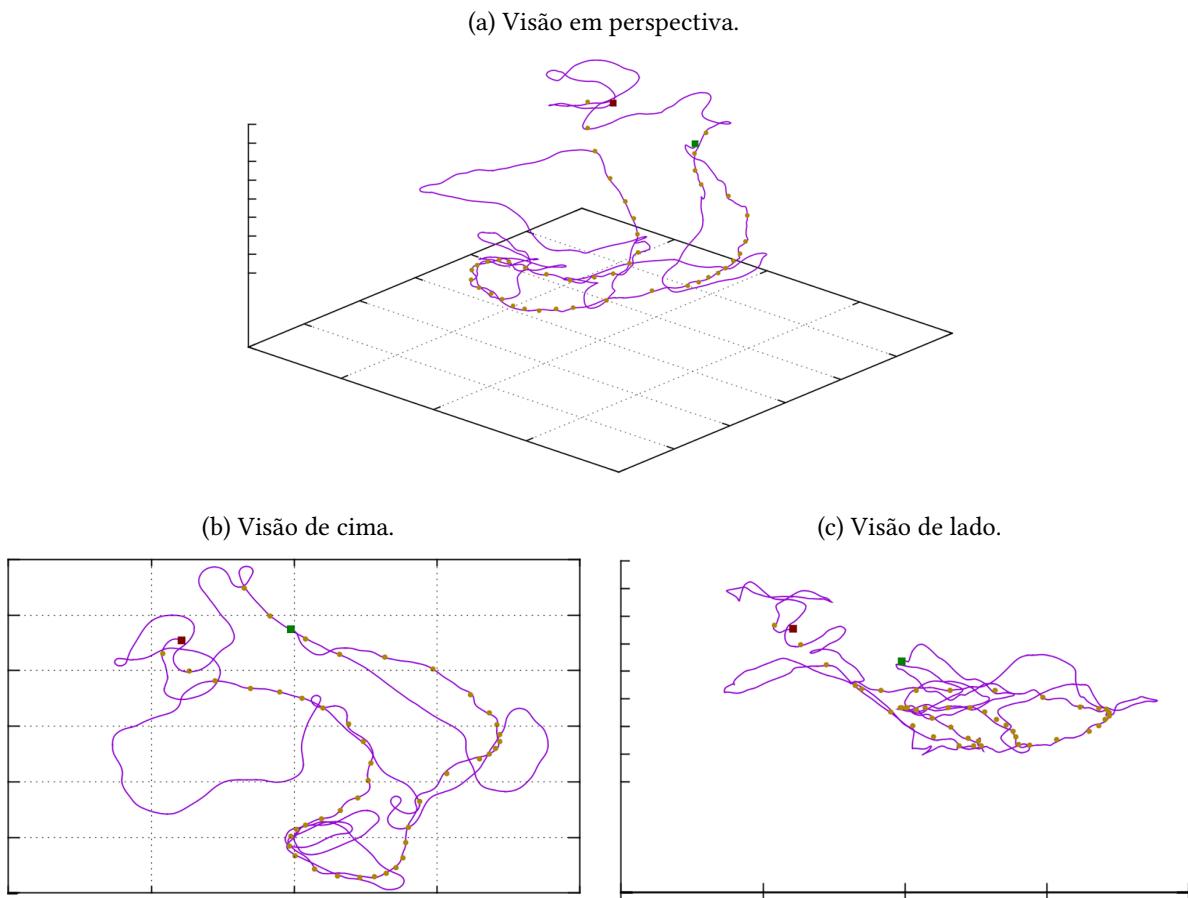
6.2.1 Trajetória da Harpia

Após a execução de uma sessão, é possível gerar um gráfico contendo a curva da trajetória percorrida pela Harpia durante cada nível. Essa curva é composta pelos pontos X, Y e Z, relacionados ao posicionamento da Harpia, que foram armazenados previamente no banco de dados.

O propósito da trajetória é analisar, através das curvas geradas, todo o progresso do paciente no cenário. A partir dela, o terapeuta pode comparar o caminho percorrido e o modo de superação dos objetivos, além da precisão alcançada pelo paciente durante a execução.

Para fins de demonstração, a Figura 6.3 apresenta o gráfico da trajetória gerado a partir do nível 1 da última sessão executada por um dos pacientes. O ponto verde indica o início do percurso e o ponto vermelho indica o fim. Já os pontos amarelos indicam os desafios dispostos pelo cenário.

Figura 6.3: Exemplo de trajetória da Harpia.

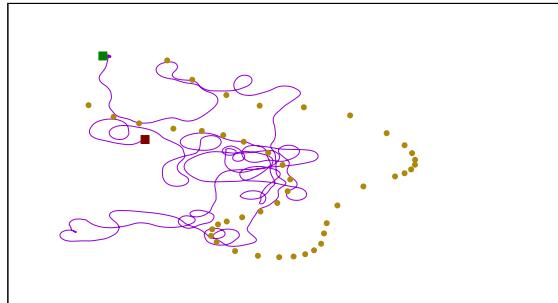


Fonte: Autoria própria.

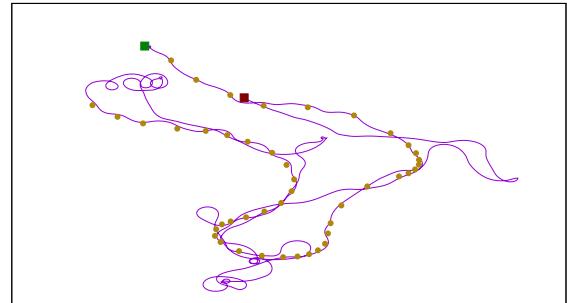
As Figuras 6.4 e 6.5 mostram as trajetórias do nível 1 na primeira e na última sessão executada por cada paciente. Foram dispostos no cenário a mesma quantidade de desafios (anéis), para que pudesse ser feita uma comparação entre o caminho percorrido pelos pacientes e a quantidade de anéis capturados.

Figura 6.4: Comparação da trajetória da Harpia (visão de cima).

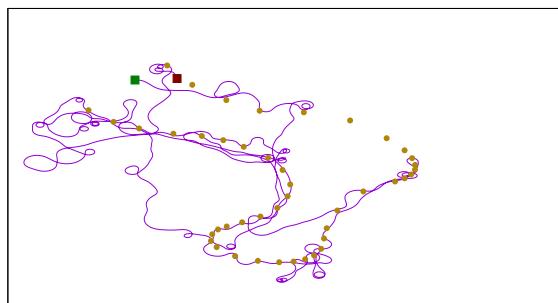
(a) Paciente A – Sessão 1.



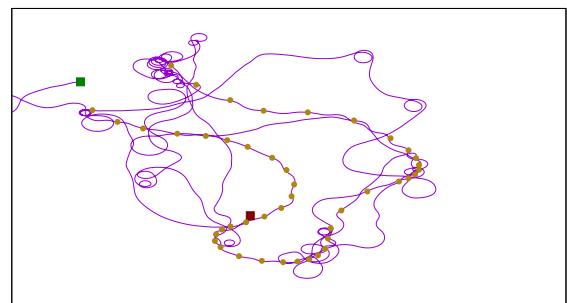
(b) Paciente A – Sessão 6.



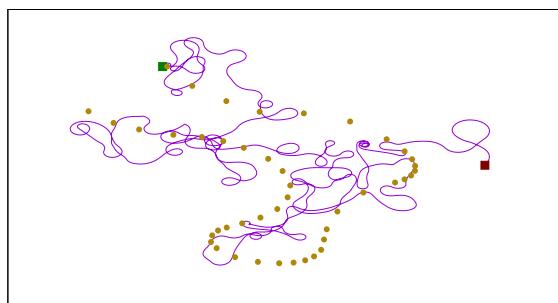
(c) Paciente B – Sessão 1.



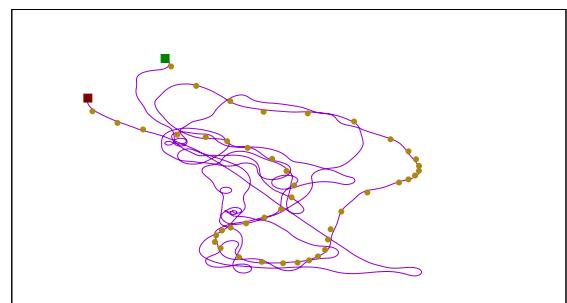
(d) Paciente B – Sessão 6.



(e) Paciente C – Sessão 1.

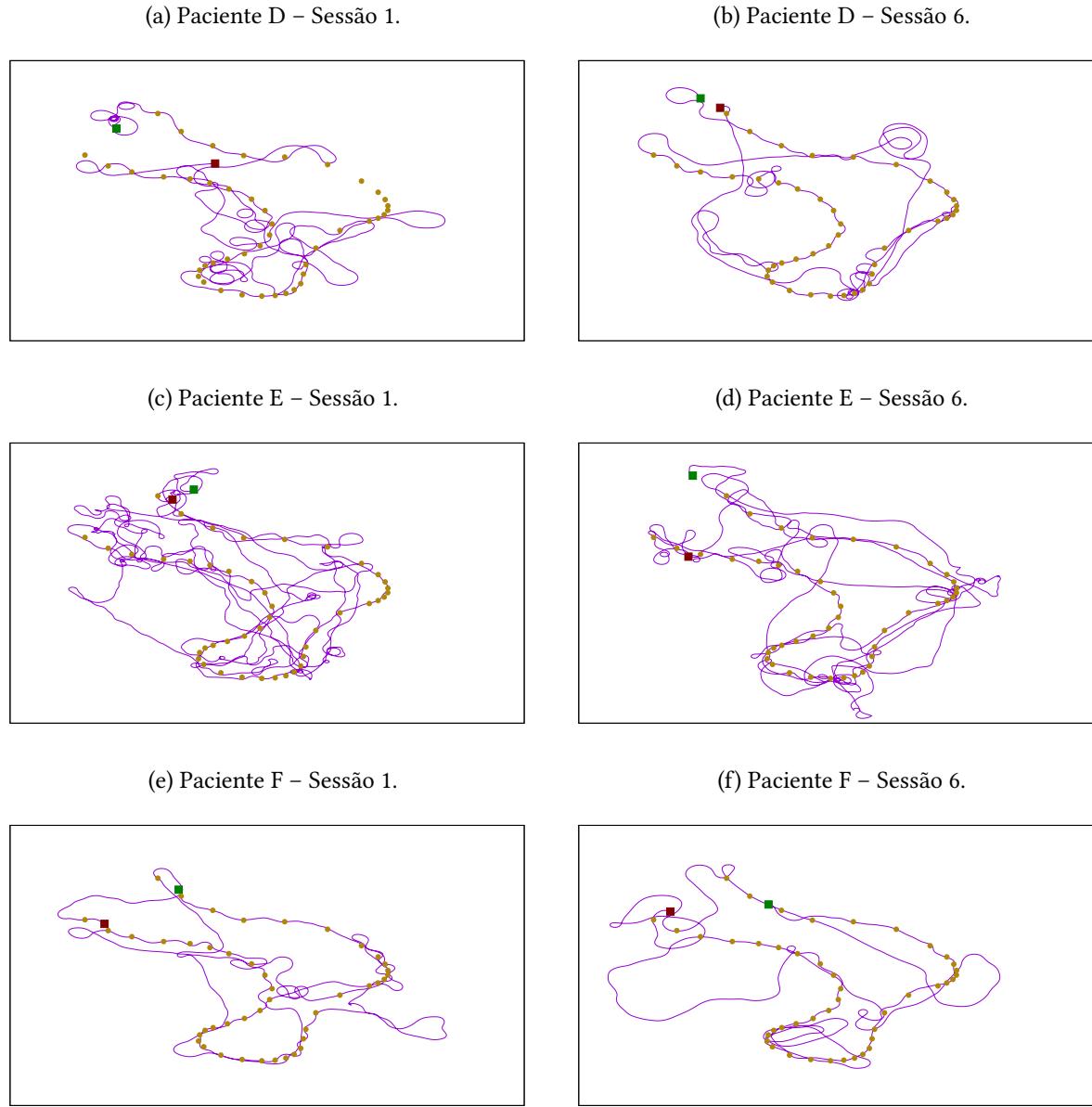


(f) Paciente C – Sessão 6.



Fonte: Autoria própria.

Figura 6.5: Comparação da trajetória da Harpia (visão de cima).



Fonte: Autoria própria.

Analisando cada trajetória, na maioria dos casos é possível observar que, na primeira sessão, os pacientes não conseguem capturar grande quantidade de anéis, além de executarem um caminho mais longo e aparentemente confuso durante a execução. Já na última sessão, os pacientes conseguiram capturar todos os anéis, mesmo que utilizando rotas diferentes. Além disso, observou-se uma maior suavidade dos movimentos executados ao decorrer das sessões.

Mesmo ainda não dispondo de muitas variáveis, por meio da análise das trajetórias, já é possível perceber uma adaptação do paciente durante a execução dos desafios. As trajetórias também mostram o aumento do nível de aprendizado no decorrer das sessões.

6.2.2 Estatísticas de Desempenho dos Pacientes

Com o intuito de comparar o desempenho entre os pacientes em cada nível, alguns parâmetros foram calculados e apresentados por meio das Tabelas 6.7, 6.8 e 6.9. Os parâmetros avaliados são:

- \bar{d}, s_d – Média e desvio padrão dos desafios (porcentagem);
- \bar{t}, s_t – Média e desvio padrão do tempo total gasto para completar o nível (segundos).

Tabela 6.7: Estatísticas de desempenhos dos pacientes no nível 1.

Sessão	\bar{d}	s_d	\bar{t}	s_t
1	62.879	37.501	697.821	234.795
2	79.924	34.570	563.204	160.054
3	92.424	18.557	735.050	298.352
4	95.076	10.986	779.152	280.396
5	100.000	0.000	527.073	237.373
6	100.000	0.000	612.519	164.634

Tabela 6.8: Estatísticas de desempenhos dos pacientes no nível 2.

Sessão	\bar{d}	s_d	\bar{t}	s_t
1	64.889	33.497	550.771	492.181
2	85.000	32.094	266.308	287.769
3	87.222	21.126	202.473	197.585
4	87.778	21.671	164.191	109.039
5	96.667	8.165	137.509	186.094
6	91.667	20.412	107.989	56.682

Tabela 6.9: Estatísticas de desempenhos dos pacientes no nível 3.

Sessão	\bar{d}	s_d	\bar{t}	s_t
1	70.000	32.863	555.591	155.916
2	83.333	26.583	576.534	174.673
3	80.000	25.298	564.646	136.528
4	63.333	26.583	382.859	241.239
5	80.000	21.909	513.274	369.728
6	86.667	16.330	402.993	172.076

Conforme esperado, é possível perceber que, no decorrer das sessões, a média entre os desafios superados foi melhorando e o desvio padrão diminuindo. O mesmo ocorre com a

média e o desvio padrão do tempo total, sendo a média de tempo gasto diminuindo com o passar das sessões. Vale ressaltar que não houve uma diminuição muito significante na média do tempo total gasto com relação ao primeiro nível. Isso é justificado pelo aumento do tempo máximo de execução à medida que o terapeuta identifica que o paciente já consegue concluir maior quantidade de desafios, como abordado na metodologia de avaliação.

A discrepância entre os pacientes com relação às habilidades motoras foi sendo amenizada com o tempo de treinamento. Isso é comprovado pela diminuição do desvio padrão. Porém, é importante destacar que a forma utilizada para avaliação do desempenho dos pacientes é focada na evolução de sua jogabilidade e adaptação ao jogo, não estando ligada à evolução de seu quadro clínico.

Com isso, é possível afirmar que, de modo geral, o desempenho dos pacientes durante o jogo foi melhorando com o tempo de treinamento.

6.3 Questionário de Usabilidade do Sistema (SUS)

O resultado do SUS é dado pela soma da contribuição individual de cada item. O valor de cada contribuição das questões ímpares (1, 3, 5, 7 e 9), que são as questões que apresentam aspectos positivos, é dada subtraindo 1 da pontuação informada pelo usuário (entre 1 e 5). Para as questões pares (2, 4, 6, 8 e 10), que representam fatores negativos do sistema, a contribuição é dada subtraindo 5 da pontuação informada pelo usuário (entre 1 e 5). Após determinado o valor de cada questão, é necessário somar todas as contribuições e multiplicar por 2,5 para obter o resultado global do SUS, que deve estar inserido em uma escala de 0 a 100 (BROOKE, 1996).

Após as sessões, os voluntários responderam ao questionário SUS adaptado para essa pesquisa (ANEXO A). Os resultados são apresentados na Tabela 6.10.

No questionário SUS, a pontuação equivalente a 50% corresponde a 68, sendo que pontuações acima desse valor são consideradas acima da média, caso contrário, abaixo da média (BROOKE, 1996). Conforme evidenciado na Tabela 6.10, a menor pontuação obtida no SUS foi de 70, obtendo uma média total de 85,8. Logo, o sistema foi positivamente avaliado em todos os casos, cumprindo os critérios de efetividade, eficiência e satisfação, segundo a escala SUS.

Tabela 6.10: Resultados do SUS.

Participante	Resultado (%)
A	95,0
B	95,0
C	77,5
D	70,0
E	92,5
F	85,0
Média	85,8

6.4 Questionário de Avaliação de Ambientes Virtuais

Logo após responderem ao questionário SUS, os voluntários responderam às perguntas que compõem a avaliação da motivação do paciente. A Tabela 6.11 mostra essas perguntas e as respostas de cada paciente avaliado pela pesquisa.

A análise da motivação do usuário pelo QAAV indica que o jogo desenvolvido teve grande aceitação pelos voluntários, dando aos mesmos um sentimento de recompensa ao concluir o jogo e motivando-os a concluir os objetivos. A análise também indica que o jogo se mostrou de fácil entendimento, com uma interface limpa e objetiva.

Por sua vez, a avaliação do questionário de experiência do usuário consolida os resultados acima apresentados, apontando que os voluntários se mantiveram motivados durante as sessões e não se sentiram ansiosos ou entediados. A Tabela 6.12 mostra as questões e as respostas de cada paciente, com relação a experiência do usuário.

Conforme pode ser observado, os resultados do questionário atestam o bom nível de imersão existente no jogo, comprovando, também sua ludicidade devido ao cenário rico em detalhes. O empenho dos voluntários na execução dos objetivos também é um fator que se destaca. As atividades propostas não se mostraram nem muito fáceis nem muito difíceis, promovendo os desafios em um ritmo apropriado. Isso se deve ao alto nível de customização do jogo por meio do protocolo desenvolvido.

Tabela 6.11: QAAV – Análise da Motivação.

Pergunta	Paciente						Média
	A	B	C	D	E	F	
Algo interessante no início do jogo capturou minha atenção.	4	5	5	5	5	5	4,8
O design da interface do jogo é atraente.	5	5	5	5	5	5	5,0
O conteúdo do jogo é relevante para meus interesses.	5	5	5	5	5	5	5,0
O conteúdo do jogo será útil para mim.	5	5	5	5	5	5	5,0
O jogo não foi difícil de entender.	5	5	5	5	5	5	5,0
Não havia excesso de informações no jogo que dificultassem a identificação dos pontos importantes.	5	5	5	4	5	5	4,8
O conteúdo do jogo não é abstrato a ponto de dificultar a atenção nele.	5	5	5	5	5	5	5,0
As atividades do jogo foram muito fáceis.	4	5	3	4	5	5	4,3
Eu consegui entender todo o material do jogo.	5	5	5	5	5	5	5,0
Completar os exercícios do jogo me deu um sentimento de realização.	5	5	5	5	5	2	4,5
Os textos de feedback depois dos exercícios ou outros comentários do jogo, me ajudaram a sentir recompensado pelo meu esforço.	5	5	5	5	5	5	5,0
Eu me senti bem ao completar o jogo.	5	5	5	5	5	5	5,0

Tabela 6.12: QAAV – Análise da Experiência do Usuário.

Pergunta	Paciente						Média
	A	B	C	D	E	F	
Eu não percebi o tempo passar enquanto jogava.	5	5	5	5	5	5	5,0
Eu perdi a noção do que estava ao meu redor enquanto jogava (com relação ao nível de imersão).	5	4	5	5	5	2	4,3
Eu me senti mais no ambiente do jogo que no mundo real (com relação ao nível de imersão).	5	3	5	5	5	2	4,2
Eu me esforcei para ter bons resultados no jogo.	5	5	5	5	5	5	5,0
Em nenhum momento eu queria desistir do jogo.	5	5	5	5	5	5	5,0
Eu gostei do jogo e não me senti ansioso ou entediado.	5	5	4	5	5	5	4,8
O jogo me manteve motivado a continuar jogando.	5	5	5	5	5	5	5,0
Minhas habilidades melhoraram gradualmente com a superação dos desafios.	4	2	3	5	5	3	3,7
O jogo oferece novos desafios num ritmo apropriado.	4	5	5	5	5	5	4,8
Este jogo é adequadamente desafiador pra mim, as tarefas não são muito fáceis nem muito difíceis.	4	4	5	5	5	5	4,7
Senti que estava tendo progresso ao decorrer do jogo.	5	5	5	5	5	5	5,0
Quando interrompido, fiquei desapontado que o jogo tinha acabado.	5	1	5	4	3	3	3,5
Eu jogaria este jogo novamente.	5	5	5	5	5	5	5,0
Nenhum aspecto do jogo me irrita.	3	5	5	5	5	5	4,6
Eu não queria que o jogo acabasse rápido.	5	5	5	5	5	5	5,0
A velocidade do jogo é adequada.	5	5	5	5	5	5	5,0

6.5 Considerações Finais

Esse capítulo apresentou os resultados alcançados através da aplicação da metodologia de avaliação proposta e do protocolo utilizado para a validação do nível de satisfação dos pacientes na interação com o jogo.

Os resultados se mostraram muito positivos, abrangendo métodos concretos e uma aceitação significativa, o que mostra o potencial do sistema para uso no processo de reabilitação pós-AVE dos membros superiores. Os resultados também comprovaram que a customização do protocolo de treinamento e a alta qualidade gráfica são fatores que impactam positivamente no processo.

No próximo capítulo são apresentadas as conclusões do projeto, assim como as propostas para trabalhos futuros com base nos dados aqui apresentados.

Capítulo **7**

Conclusões e Trabalhos Futuros

7.1 Conclusões

A pesquisa realizada possibilitou o desenvolvimento de um jogo sério com desafios e objetivos customizáveis e a possibilidade de ser controlado por diferentes dispositivos de entrada. O jogo foi desenvolvido considerando os requisitos levantados na fase de concepção do projeto, seguindo uma abordagem analítica de desenvolvimento de jogos sérios. Através dos resultados obtidos após os testes executados e das informações obtidas por meio dos questionários, pode-se concluir que o sistema desenvolvido tem potencial para ser utilizado na reabilitação de pacientes com paresia nos membros superiores decorrentes de um AVE. Porém, a validação do sistema para comprovação de sua eficiência na reabilitação não foi realizada. Para isso, novos protocolos precisam ser desenvolvidos e adaptados ao jogo.

A análise da trajetória da Harpia se mostrou como um grande potencial para avaliação do desempenho tanto em treinamento quanto em reabilitação. Porém, ainda é necessária a aplicação de novas variáveis a serem avaliadas por meio de métricas definidas por profissionais da área.

As ferramentas utilizadas se mostraram apropriadas para o desenvolvimento. Por meio da *Unreal Engine* foi possível alcançar a construção de um ambiente virtual com alta qualidade gráfica e bem balanceado em respeito ao custo computacional, possibilitando, assim, o alcance de bons níveis de imersão. O bracelete *Myo* se mostrou o mais conveniente para o controle do jogo, visto que é composto por uma interface facilmente adaptável e uma usabilidade confortável e prática. A plataforma de suporte assistido não foi utilizada nos testes, pois os movimentos nela executados atualmente se limitam a um plano bidimensional, não incluindo

os movimentos de flexão e extensão abordados pelo protocolo de treinamento. Entretanto, foi possível comprovar o funcionamento da interface multimodal por meio da comunicação entre o sistema e a plataforma por meio da interface MQTT desenvolvida.

Portanto, acredita-se que com as devidas adequações, é possível criar um processo mais interativo e menos cansativo para o paciente em reabilitação, através de um ambiente virtual mais realista, detalhado e lúdico. Além da possibilidade da adaptação para pacientes em diferentes níveis de recuperação, auxiliando, inclusive, o trabalho dos fisioterapeutas.

7.2 Trabalhos Futuros

Para dar continuidade no desenvolvimento do projeto, várias funcionalidades do sistema devem ser refinadas e ampliadas. Vários ajustes precisam ser feitos para garantir uma melhor aplicação do jogo pelos terapeutas e a utilização pelos pacientes de forma a contribuir para sua reabilitação, sendo necessário comprovar a eficiência da ferramenta no tratamento clínico de pacientes pós-AVE.

Serão desenvolvidos mais níveis com outros tipos de desafios, sendo ampliadas as funções do painel de controle. Será avaliado, também, a possibilidade de o terapeuta criar cenários amplamente personalizados, sem se prender à limitação e quantidade fixa de níveis do jogo. Com relação a interface multimodal, o desenvolvimento da plataforma será continuado, além disso, as funcionalidades de cada dispositivo serão melhor exploradas, mostrando suas vantagens e desvantagens em cada caso. Um novo dispositivo portátil será desenvolvido para a integração no sistema, ampliando cada vez mais as possibilidades de adequação de novos controles.

Os relatórios também serão melhorados, a fim de automatizar a geração dos mesmos pelo painel de controle, tendo em vista a alta gama de informações armazenadas no banco de dados. A concepção da trajetória da Harpia será melhor implementada, para que seja possível, não só a visualização da curva, mas também a execução da mesma através de um sistema de *replay* das sessões executadas. Assim, será possível uma análise mais detalhada do caminho percorrido pelo paciente e a precisão alcançada em cada desafio.

Serão, também, criados novos protocolos de treinamento, para abranger outras articulações dos membros superiores. Ademais, pretende-se avaliar a eficiência do sistema para outras modalidades de treinamento.

Bibliografia

BARBOSA, Simone; SILVA, Bruno. **Interação humano-computador**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2010. ISBN 978-85-352-3418-3.

BEZERRA, Eduardo. **Princípios de Análise e Projetos de Sistemas com UML**. 3. ed. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2015.

BLACKMAN, Sue. Serious games...and less! **ACM SIGGRAPH Computer Graphics**, 2005. ISSN 00978930. DOI: 10.1145/1057792.1057802.

BLACQUIERE, Dylan et al. Canadian Stroke Best Practice Recommendations: Telestroke Best Practice Guidelines Update 2017. **International Journal of Stroke**, 2017. ISSN 17474949. DOI: 10.1177/1747493017706239.

BLENDER FOUNDATION. **Blender 3D**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://www.blender.org/>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

BOLAND, Peter. Managing chronic disease through mobile persuasion. **Mobile persuasion**, Stanford Captology Media California, v. 20, p. 45–52, 2007.

BROOKE, John. SUS - A quick and dirty usability scale. In: **USABILITY Evaluation in Industry**. [S.l.: s.n.], 1996. ISBN 0748404600. DOI: 10.1002/hbm.20701. arXiv: arXiv:1011.1669v3.

BRUNNSTROM, Signe. **Movement therapy in hemiplegia: a neurophysiological approach**. [S.l.]: Medical Department, Harper & Row, 1970.

BUR, J W et al. Augmented Reality Games for Upper-Limb Stroke Rehabilitation. In: **2010 Second International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications**. [S.l.]: IEEE, mar. 2010. DOI: 10.1109/vs-games.2010.21.

- BURDEA GRIGORE, C; COIFFET, P. **Virtual Reality Technology**. [S.l.]: London: Wiley-Interscience, 1994.
- BURKE, J. W. et al. Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games. **Visual Computer**, 2009. ISSN 01782789. DOI: 10.1007/s00371-009-0387-4.
- CAMPOLO, Domenico et al. H-Man: A planar, H-shape cabled differential robotic manipulandum for experiments on human motor control. **Journal of Neuroscience Methods**, 2014. ISSN 1872678X. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2014.07.003.
- CARDOSO, A; LAMOUNIER, E A. Aplicações na Educação e Treinamento. **Realidade Virtual e Aumentada-Uma Abordagem Tecnológica**, 2008. ISSN 2040-2058. DOI: 10.3851/IMP1558.
- CLAFLIN, Edward S.; KRISHNAN, Chandramouli; KHOT, Sandeep P. Emerging Treatments for Motor Rehabilitation After Stroke. **The Neurohospitalist**, 2015. ISSN 19418752. DOI: 10.1177/1941874414561023.
- COSTA, Alberto Martins Da; DUARTE, Edison. Atividade física e a relação com a qualidade de vida, de pessoas com seqüelas de acidente vascular cerebral isquêmico (AVCI). **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, 2002. ISSN 0123-417X.
- DAVID, Ludovic; BOUYER, Guillaume; OTMANE, Samir. Towards an Upper Limb Self-rehabilitation Assistance System After Stroke. In: PROCEEDINGS of the Virtual Reality International Conference - Laval Virtual 2017. New York, NY, USA: ACM, 2017. (VRIC '17), 20:1-20:4. ISBN 978-1-4503-4858-4. DOI: 10.1145/3110292.3110313. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3110292.3110313>>.
- DE JESUS ALVES DA SILVA, Emanuel. **Reabilitação Após o AVC**. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade do Porto: FMUP. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/52151/2/Reabilitao%20aps%20o%20AVC.pdf>>.
- EPIC GAMES. **Unreal Engine 4**. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<https://www.unrealengine.com/en-US/what-is-unreal-engine-4>>. Acesso em: 21 fev. 2019.
- FLORES, Eletha et al. Improving patient motivation in game development for motor deficit rehabilitation. In: PROCEEDINGS of the 2008 International Conference in Advances on Computer Entertainment Technology - ACE '08. [S.l.: s.n.], 2008. ISBN 9781605583938. DOI: 10.1145/1501750.1501839.

- FLUET PHD, Gerard et al. Virtual reality-augmented rehabilitation for patients in sub-acute phase post-stroke: A feasibility study. **Journal of Pain Management**, 2016. ISSN 19395914.
- HOCINE, Nadia; GOUAICH, Abdelkader. Therapeutic games' difficulty adaptation: An approach based on player's ability and motivation. In: PROCEEDINGS of CGAMES'2011 USA - 16th International Conference on Computer Games: AI, Animation, Mobile, Interactive Multimedia, Educational and Serious Games. [S.l.: s.n.], 2011. ISBN 9781457714504. DOI: 10.1109/CGAMES.2011.6000349.
- HUANG, Wen Hao; HUANG, Wen Yeh; TSCHOPP, Jill. Sustaining iterative game playing processes in DGBL: The relationship between motivational processing and outcome processing. **Computers and Education**, 2010. ISSN 03601315. DOI: 10.1016/j.compedu.2010.03.011.
- INTERACTIVE DATA VISUALIZATION. **SpeedTree for UE4**. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <<https://store.speedtree.com/ue4/>>. Acesso em: 21 fev. 2019.
- JAIMES, Alejandro; SEBE, Nicu. Multimodal human-computer interaction: A survey. **Computer Vision and Image Understanding**, 2007. ISSN 10773142. DOI: 10.1016/j.cviu.2006.10.019.
- JENNETT, Charlene et al. Measuring and defining the experience of immersion in games. **International Journal of Human Computer Studies**, 2008. ISSN 10715819. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2008.04.004. arXiv: arXiv:1011.1669v3.
- KRONBAUER, Artur Henrique; NETO, João Graça; BARRETO, Shirley Gois. Therapy Game: Uma Nova Plataforma Para Auxiliar Nas Áreas De Fisioterapia e Terapia Ocupacional. In: PROCEEDINGS of the 14th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems. New York, NY, USA: ACM, 2015. (IHC '15), 38:1–38:10. ISBN 978-1-4503-5362-5. DOI: 10.1145/3148456.3148494. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3148456.3148494>>.
- KWAKKEL, Gert et al. Probability of regaining dexterity in the flaccid upper limb: Impact of severity of paresis and time since onset in acute stroke. **Stroke**, 2003. ISSN 00392499. DOI: 10.1161/01.STR.0000087172.16305.CD.
- LAFOND, I.; QIU, Q.; ADAMOVICH, S. V. Design of a customized virtual reality simulation for retraining upper extremities after stroke. In: PROCEEDINGS of the 2010 IEEE 36th

- Annual Northeast Bioengineering Conference, NEBEC 2010. [S.l.: s.n.], 2010. ISBN 9781424468799. DOI: 10.1109/NEBC.2010.5458130.
- LANGHORNE, P. et al. Do stroke units save lives? **The Lancet**, 1993. ISSN 01406736. DOI: 10.1016/0140-6736(93)92813-9.
- LANGHORNE, Peter; COUPAR, Fiona; POLLOCK, Alex. **Motor recovery after stroke: a systematic review**. [S.l.: s.n.], 2009. ISBN 1474-4422. DOI: 10.1016/S1474-4422(09)70150-4. arXiv: S1474-4422(09)70150-4. [10.1016].
- LAVER, Kate E. et al. **Virtual reality for stroke rehabilitation**. [S.l.: s.n.], 2015. ISBN 1361-6137. DOI: 10.1002/14651858.CD008349.pub3. arXiv: arXiv:1011.1669v3.
- LEATHERBURY, Maurice. Developing User Interfaces: Ensuring Usability Through Product & Process. **Information Processing & Management**, 1995. ISSN 03064573. DOI: 10.1016/0306-4573(95)80030-W. arXiv: 0-471-57813-4.
- LEVIN, M. F.; WEISS, P. L.; KESHNER, E. A. Emergence of Virtual Reality as a Tool for Upper Limb Rehabilitation: Incorporation of Motor Control and Motor Learning Principles. **Physical Therapy**, 2015. ISSN 0031-9023. DOI: 10.2522/ptj.20130579. arXiv: 9605103 [cs].
- LINDSAY, Patrice et al. World stroke organization global stroke services guidelines and action plan. **International Journal of Stroke**, 2014. ISSN 17474949. DOI: 10.1111/ijjs.12371.
- LUKER, Julie et al. **Stroke Survivors' Experiences of Physical Rehabilitation: A Systematic Review of Qualitative Studies**. [S.l.: s.n.], 2015. ISBN 9781498714822. DOI: 10.1201/b18709.
- LYRA, Janaína O. M. **Jogos Sérios para Reabilitação de Membros Inferiores de Pacientes Pós-AVC Utilizando Knect, Ambientes Virtuais e Sinais Mioelétricos**. 2016. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Espírito Santo.
- MA, Minhua; BECHKOUUM, Kamal. Serious games for movement therapy after stroke. In: CONFERENCE Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. [S.l.: s.n.], 2008. ISBN 978-1-4244-2383-5. DOI: 10.1109/ICSMC.2008.4811562.

- MA, Minhua; OIKONOMOU, Andreas. **Serious games and edutainment applications: Volume II.** [S.l.: s.n.], 2017. ISBN 9783319516455. DOI: 10.1007/978-3-319-51645-5. arXiv: arXiv:1011.1669v3.
- MACIUSZEK, Dennis; WEICHT, Martina; MARTENS, Alke. Seamless integration of game and learning using modeling and simulation. In: PROCEEDINGS - Winter Simulation Conference. [S.l.: s.n.], 2012. ISBN 9781467347792. DOI: 10.1109/WSC.2012.6465234.
- MARTENS, Alke; DIENER, Holger; MALO, Steffen. Game-based learning with computers - Learning, simulations, and games. In: LECTURE Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). [S.l.: s.n.], 2008. ISBN 3540697373. DOI: 10.1007/978-3-540-69744-2_15.
- MICHAEL, David; CHEN, Sande. **Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform.** [S.l.: s.n.], 2006. ISBN 1592006221. DOI: 10.1021/la104669k.
- MITGUTSCH, Konstantin; ALVARADO, Narda. Purposeful by design?: a serious game design assessment framework. ... of the International Conference on the ..., 2012. ISSN 1469-493X. DOI: 10.1145/2282338.2282364. arXiv: arXiv:1011.1669v3.
- MORAN, Thomas P. The Command Language Grammar: a representation for the user interface of interactive computer systems. **International Journal of Man-Machine Studies**, 1981. ISSN 00207373. DOI: 10.1016/S0020-7373(81)80022-3.
- MQTT.ORG. **MQTT.** [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<http://mqtt.org/>>. Acesso em: 18 fev. 2019.
- NATIONAL INSTITUTE OF NEUROLOGICAL DISORDERS AND STROKE. Tissue Plasminogen Activator for Acute Ischemic Stroke. **New England Journal of Medicine**, New England Journal of Medicine ({NEJM}/{MMS}), v. 333, n. 24, p. 1581–1588, 1995. DOI: 10.1056/nejm199512143332401.
- NIELSEN, JAKOB. Usability Heuristics. In: **USABILITY** Engineering. [S.l.: s.n.], 1993. ISBN 1548-5552. DOI: 10.1016/B978-0-08-052029-2.50008-5. arXiv: NIHMS150003.
- NORTH INC. **Myo Gesture Control Armband.** [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<https://support.getmyo.com/hc/en-us>>. Acesso em: 7 fev. 2019.

- NUNES, Sara; PEREIRA, Carla; GOMES DA SILVA, Madalena. Evolução Funcional de Utentes após AVC nos Primeiros Seis Meses Após a Lesão. **ESSFisiOnline**, 2005. DOI: ISSN-1646-0634.
- O'SULLIVAN, Susan B; SCHMITZ, Thomas J. Fisioterapia: Avaliação e Tratamento. In: **FISIOTERAPIA: Avaliação e Tratamento**. 5. ed. [S.l.: s.n.], 2010.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Acidente vascular cerebral (AVC)**. [S.l.: s.n.], 2017. \url{http://www.brasil.gov.br/editoria/saude/2012/04/accidente-vascular-cerebral-avc}.
- OVBIAGELE, Bruce; NGUYEN-HUYNH, Mai N. **Stroke Epidemiology: Advancing Our Understanding of Disease Mechanism and Therapy**. [S.l.: s.n.], 2011. ISBN 1933-7213. DOI: 10.1007/s13311-011-0053-1.
- PARASKEVOPOULOS, Ioannis Th et al. Virtual reality-based holistic framework: A tool for participatory development of customised playful therapy sessions for motor rehabilitation. In: 2016 8th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications, VS-Games 2016. [S.l.: s.n.], 2016. ISBN 9781509027224. DOI: 10.1109/VS-GAMES.2016.7590378.
- PRATES, Raquel Oliveira; BARBOSA, Simone Diniz Junqueira. Introdução à Teoria e Prática da Interação Humano Computador fundamentada na Engenharia Semiótica. **XXVII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. Jornadas de Atualização em Informática JAI/SBC**, 2007. DOI: 10.1145/1298023.1298044.
- PREECE, Jenny; ROGERS, Yvonne; SHARP, Helen. **Interaction design: beyond human-computer interaction**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015.
- PREECE, Jenny; ROMBACH, H. Dieter. A taxonomy for combining software engineering and human-Computer interaction measurement approaches: Towards a common framework. **International Journal of Human - Computer Studies**, 1994. ISSN 10959300. DOI: 10.1006/ijhc.1994.1073.
- RATCLIFFE, Joseph; SIMONS, Alain. How Can 3D Game Engines Create Photo-Realistic Interactive Architectural Visualizations? In: LECTURE Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). [S.l.: s.n.], 2017. ISBN 9783319658483. DOI: 10.1007/978-3-319-65849-0_17.

- RIBEIRO, M. W. S.; ZORZAL, E. R. Realidade Virtual e Aumentada: Aplicações e Tendências. In: REALIDADE Virtual e Aumentada Aplicações e Tendências. [S.l.: s.n.], 2011. ISBN 2177 - 6768. DOI: 10.1038/hdy.2009.8.
- ROCHA, Heloísa Vieira; BARANAUKAS, Maria Celília C. **Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador**. [S.l.: s.n.], 1998. ISBN 9788588833043.
- SALIBA, V A et al. Propriedades psicométricas da Motor Activity Log: uma revisão sistemática da literatura. **Fisioterapia em Movimento**, v. 21, n. 3, 2017.
- SAURO, Jeff. **A Practical Guide to the System Usability Scale (SUS)**. [S.l.: s.n.], 2011. ISBN 1461062705.
- SHARMA, Rajeev et al. Speech/gesture interface to a visual computing environment for molecular biologists. In: PROCEEDINGS - International Conference on Pattern Recognition. [S.l.: s.n.], 1996. ISBN 081867282X. DOI: 10.1109/ICPR.1996.547311.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE DOENÇAS CEREBROVASCULARES - SBDCV. **Acidente Vascular Cerebral**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <http://www.sbdcv.org.br/publica%7B%5C_%7Davc.asp>. Acesso em: 17 jan. 2019.
- SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software, 9ª edição**. [S.l.: s.n.], 2011. ISBN 85-88639-07-6. DOI: 10.1016/j.bbadio.2012.10.001.
- SOUZA, Cláisse Sieckenius de; LEITÃO, Carla Faria. Semiotic Engineering Methods for Scientific Research in HCI. **Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics**, 2009. ISSN 1946-7680. DOI: 10.2200/S00173ED1V01Y200901HCI002.
- SQLITE. **SQLite**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://www.sqlite.org>>. Acesso em: 21 fev. 2019.
- TANNÚS, Júlia S. et al. Técnicas de Modelagem Geométrica e Comportamental na Construção de um Ambiente Virtual para Reabilitação de Pacientes Pós-AVC por Meio de um Jogo Sério. In: XX Symposium on Virtual and Augmented Reality. Foz do Iguaçu PR: [s.n.], 2018.
- TORI, Romero; KIRNER, Claudio; **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. [S.l.: s.n.], 2006. ISBN 8576690683. DOI: 10.1590/S0100-69912008000500011.

- TROMBETTA, Mateus et al. Motion Rehab 3D Plus: Um Exergame Customizável Aplicado à Reabilitação Física. **Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde (SBCAS_CSBC)**, v. 18, n. 1/2018, 2018. Disponível em: <<http://portaldeconteudo.sbc.org.br/index.php/sbcas/article/view/3668>>.
- WARLOW, Charles et al. **Stroke: Practical Management: Third Edition**. [S.l.: s.n.], 2008. ISBN 9781405127660. DOI: 10.1002/9780470696361.
- WIGDOR, Daniel; WIXON, Dennis. **Brave NUI World**. [S.l.: s.n.], 2011. ISBN 9780123822314. DOI: 10.1016/C2009-0-64091-5. arXiv: arXiv:1011.1669v3.
- WORLD MACHINE SOFTWARE. **World Machine : The Premier 3D Terrain Generator**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://www.world-machine.com/>>. Acesso em: 21 fev. 2019.
- WORLD STROKE ORGANIZATION. **Distúrbios Pós AVC - World Stroke Campaign**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <https://www.worldstrokecampaign.org/pt%7B%5C_%7Dbr/sobre-o-campanha-mundial-de-avc/disturbios-pos-avc.html>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- YUAN, Michael. **Conhecendo o MQTT**. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>>. Acesso em: 18 fev. 2019.
- ZYDA, Michael. From visual simulation to virtual reality to games. **Computer**, 2005. ISSN 00189162. DOI: 10.1109/MC.2005.297.

ANEXO A – *System Usability Scale (SUS)*, adaptado

	Discordo fortemente	Concordo fortemente			
1. Eu acho que gostaria de utilizar esse jogo com frequência.	<input type="checkbox"/>				
2. Eu achei esse jogo desnecessariamente complexo.	<input type="checkbox"/>				
3. Eu achei esse jogo fácil de jogar.	<input type="checkbox"/>				
4. Eu acredito que eu precisaria do auxílio de um terapeuta para jogar.	<input type="checkbox"/>				
5. Eu achei todas as funcionalidades do jogo bem integradas.	<input type="checkbox"/>				
6. Eu acho que o jogo apresenta muitas inconsistências.	<input type="checkbox"/>				
7. Eu acredito que as pessoas aprenderão a utilizar esse jogo rapidamente.	<input type="checkbox"/>				
8. Eu achei o jogo muito complicado/incômodo de jogar.	<input type="checkbox"/>				
9. Eu me senti confiante ao jogar.	<input type="checkbox"/>				
10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir jogar.	<input type="checkbox"/>				