**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

Thales Bueno Pasqual

**Desenvolvimento de um jogo para reabilitação de pessoas
que sofreram AVC, baseado no exame de cognição
ACE-R**

São Carlos

2018

Thales Bueno Pasqual

**Desenvolvimento de um jogo para reabilitação de pessoas
que sofreram AVC, baseado no exame de cognição ACE-R**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências – Área: Dinâmica das Máquinas e Sistemas

Área de Concentração: Dinâmica das Máquinas e Sistemas
Orientador: Prof. Dr. Adriano Almeida Gonçalves Siqueira

ESTE EXEMPLAR TRATA-SE DA VERSÃO CORRIGIDA. A
VERSÃO ORIGINAL ENCONTRA-SE DISPONÍVEL JUNTO
AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA DA
EESC-USP.

São Carlos

2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

BT365d Bueno Pasqual, Thales
Desenvolvimento de um jogo para reabilitação de
pessoas que sofreram AVC, baseado no exame de cognição
ACE-R / Thales Bueno Pasqual; orientador Adriano
Almeida Gonçalves Siqueira; coorientador Glauco Augusto
de Paula Caurin. São Carlos, 2018.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em
Dinâmica das Máquinas e Sistemas -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2018.

1. Jogos Sérios. 2. Reabilitação Robótica. 3. Teste
Cognitivo. 4. Membro Inferiores. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **THALES BUENO PASQUAL**.

Título da dissertação: "Desenvolvimento de um jogo para reabilitação de pessoas que sofreram AVC, baseado no exame de cognição ACE-R".

Data da defesa: 14/03/2018.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **Adriano Almeida Gonçalves Siqueira**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Associado **Valéria Meirelles Carril Elui**
(Faculdade de Medicina – FMRP - USP)

Aprovado

Prof. Dr. **Alvaro Jofre Uribe Quevedo**
(Universidade do Ontario Int. of. Technology)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica:
Prof. Associado **Gherhardt Ribatski**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Luis Fernando Costa Alberto**

*Este trabalho é dedicado a todos aqueles que buscam
um mundo melhor através da melhora de si mesmo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço meus pais, Orlando e Fátima, por terem criado a pessoa que eu sou e terem me dado suporte sempre que foi necessário, por serem sempre receptivos e estarem sempre torcendo pro meu sucesso incondicionalmente.

Meu profundo agradecimento à minha namorada Isabela por sua incrível companhia, fidelidade, respeito e por tornar cada dia da minha vida um dia especial.

Agradeço também meus orientadores, Adriano e Glauco, por confiarem na minha capacidade e dar todo suporte necessário para atingir meus objetivos pessoais e acadêmicos.

Um agradecimento especial a todos meus amigos e amigas pela presença, mesmo que virtual, por me suportarem, apoiarem, por torcerem para meu sucesso e dividirem comigo sonhos e anseios, independente das distâncias que a vida proporciona.

Agradeço também meus colegas do laboratório de dinâmica pela ajuda e companheirismo ao longo desses anos de trabalho, que mesmo com trabalhos distintos contribuíram para a multiplicação dos conhecimentos e para o sucesso desse trabalho.

Também direciono meus agradecimentos àqueles que exercem a profissão mais importante de todas, difusora de conhecimentos. Obrigado professores que contribuíram pra minha formação em qualquer momento da minha vida.

Agradeço também a toda equipe de funcionários da USP, em especial às meninas do programa de pós graduação, por sempre me informar e ajudar em todos os processos envolvidos ao longo desses anos de mestrado.

E finalmente agradeço a todos àqueles que contribuíram para a elaboração e conclusão desse trabalho, direta ou indiretamente.

*“A mente que se abre a
uma nova ideia jamais voltará
ao seu tamanho original”
Albert Einstein*

RESUMO

Pasqual, T. B. **Desenvolvimento de um jogo para reabilitação de pessoas que sofreram AVC, baseado no exame de cognição ACE-R.** 2018. 172p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) é uma das maiores preocupações da saúde no mundo, sendo a segunda maior causa de morte no mundo e a terceira maior de incapacitação. Sendo a cognição uma das capacidades que são afetadas pelo AVC, é comum o uso de exames para verificar em que nível de estado mental o paciente se encontra. Os pacientes que apresentam incapacidades passam por um longo e complexo programa de reabilitação. Esses indivíduos tornam-se limitados na realização das Atividades de Vida Diária (AVDs), como caminhar, devido a problemas envolvendo alterações da motricidade em um lado do corpo. O tornozelo é uma articulação importante pois está diretamente ligada à capacidade de caminhar e se manter em pé. Existem diversos exames cognitivos e motores para avaliar o dano causado aos indivíduos, bem como sua melhora ao longo da terapia, porém a área da saúde carece de ferramentas que possam unir a avaliação com os recursos de reabilitação. Portanto este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um jogo voltado para reabilitação motora para o membro inferior e cognitiva para pessoas que sofreram AVC baseado em um exame de análise cognitiva e interface com temática familiar, utilizando um mecanismo projetado especificamente para reabilitação de tornozelo. O principal objetivo deste projeto é desenvolver um jogo que o desempenho do jogador se correlacione com o desempenho do mesmo no *Addenbrooke's Cognitive Examination Revised* (ACE-R). Pensando no público de maior incidência do AVC, o jogo tem uma temática de familiaridade visando a fácil identificação e imersão do indivíduo no processo de reabilitação, para esse fim foi desenvolvido um jogo baseado em cartas de baralho. Dessa forma o projeto focou em três frentes principais: a articulação a ser reabilitada, a patologia e o perfil de usuário. Este trabalho seguiu uma metodologia para seu desenvolvimento desde a fase de estratégia, especificações e planejamento, concepção e homologação. Os resultados se mostraram satisfatórios dentro dos objetivos estabelecidos dando abertura para diversas frentes de estudo em relação a desenvolvimento de jogos, imersão e desempenho de indivíduos em jogos virtuais, cinemática do tornozelo e níveis cognitivos. Este trabalho também pode ser utilizado como guia para novos desenvolvimentos de jogos sérios integrado com mecanismos robóticos para reabilitação.

Palavras-chave: Jogos Sérios, Reabilitação Robótica, Teste Cognitivo, Membro Inferiores.

ABSTRACT

Pasqual, T. B. **Game development for rehabilitation of people who suffered strokes, based on cognition exam ACE-R.** 2018. 172p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

The *Cerebrovascular Accident* (CVA) or Stroke is one of the greatest health concerns in the world, being the second largest cause of death in the world and the third largest cause of disability. Since cognition is one of the capacities that are affected by stroke, it is common to use tests to find out what level of the patient's mental state is. Patients with disabilities experiences need a long and complex rehabilitation program. They become limited in performing *Daily Life Activities* (DLA), such as walking, due to problems involving the movement alterations in one body's side. The ankle is directly linked to to walk and stand ability. There are several cognitive and motor tests to evaluate the damage caused to subjects, as well as their improvement throughout therapy, but the health care area lacks tools that can integrate the evaluation with the rehabilitation tools. Therefore, this project aims to develop an ankle rehabilitation game for people who have suffered from stroke, based on a cognitive analysis examination that has interface with family thematic, using a mechanism designed specifically for ankle rehabilitation. The main goal of this project is to develop a specifically game that correlates with ACE-R. Thinking about the audience of higher incidence of CVA, the game will have a familiar theme for the easy identification and immersion of the individual in the rehabilitation process, for this purpose a game based on playing cards was developed. In this way the project was focused on three main fronts: the articulation, the pathology and the user's profile. This work followed a methodology to be developed since its strategy, specifications and planning, conception, testing and homologation. The results proved to be satisfactory within the stated objectives, opening up several study fronts in relation to game development, immersion and performance of individuals in virtual games, ankle kinematics and cognitive levels. This work also can be used as a guide for new serious game development integrated with robotic mechanisms for rehabilitation

Keywords: Serious Game, Robotic Rehabilitation, Cognition Test, Lower Limbs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração da multidisciplinaridade deste trabalho	36
Figura 2 – Alguns mecanismos de reabilitação desenvolvido no Laboratório de Reabilitação Robótica da USP São Carlos. Fonte: Respectivas referências.	41
Figura 3 – Mecanismo de Reabilitação AnkleBot	41
Figura 4 – Movimentação do AnkleBot	42
Figura 5 – Tecnologias envolvidas neste trabalho	44
Figura 6 – Fases do Modelo de Referência Mecatrônico (MRM)	44
Figura 7 – Interação entre os usuários finais com o sistema	48
Figura 8 – Fluxo de Decisão das atividades de desenvolvimento do projeto	51
Figura 9 – Estados do produto e as transições entre eles	52
Figura 10 – Estrutura funcional do produto com as funções e o fluxo de funcionamento	52
Figura 11 – Diagrama de funções ativas que relaciona o diagrama de estados e o funcional	52
Figura 12 – Esquema de comunicação entre o robô e o jogo	55
Figura 13 – Jogo <i>Race for Noah's Ark</i> oferecido pela <i>Interactive Motion Technologies</i> (IMT) com Anklebot	57
Figura 14 – Jogo <i>Space Dodge</i> inspirado no <i>Race for Noah's Ark</i>	57
Figura 15 – Jogo <i>The Shipwreck</i> oferecido pela IMT com Anklebot	58
Figura 16 – Jogo <i>Double Pong</i> inspirado no <i>The Shipwreck</i>	58
Figura 17 – Clássico jogo <i>Pong</i> desenvolvido pela Atari [®]	59
Figura 18 – Envelope de trabalho do tornozelo de um indivíduo isento de deficiências no movimento. Fonte: Pasqual, Caurin e Siqueira (2016).	60
Figura 19 – Problemas originados do movimento elíptico do tornozelo. Fonte: Próprio autor.	60
Figura 20 – Envelope de trabalho do tornozelo da Figura 18 ajustado ao espaço quadrático (espaço de trabalho do jogo)	62
Figura 21 – Método de calibração anteriormente proposto. Fonte: Próprio autor.	64
Figura 22 – Representação visual da função <i>Move Box</i>	65
Figura 23 – Função <i>Move Box</i> movendo a posição do jogador de duas diferentes origens até o mesmo objetivo	66
Figura 24 – Função <i>Move Box</i> trabalhando como resistência, contra o movimento do indivíduo, de duas origens diferentes	66
Figura 25 – Representação visual da função Elipse Móvel	67
Figura 26 – Função Elipse Móvel movendo a posição do jogador de duas diferentes origens até o mesmo objetivo	68

Figura 27 – Função Elipse Móvel trabalhando como resistência, contra o movimento do indivíduo, de duas origens diferentes	68
Figura 28 – Movimentos realizados pelo indivíduo durante o Jogo Livre sem atuação de forças. Fonte: Próprio autor.	70
Figura 29 – Forças realizadas para ajudar o indivíduo durante o Jogo Assistido, com forças de auxílio. Fonte: Próprio autor.	70
Figura 30 – Forças realizadas para dificultar para o indivíduo durante o Jogo Resistido, com forças de resistência. Fonte: Próprio autor.	71
Figura 31 – Teste de percepção da habilidades perceptivas. Fonte: Teste ACE-R. . .	73
Figura 32 – Órteses de Tornozelo-Pé da Knit-Rite Direct	74
Figura 33 – Divisão de prioridades na reabilitação de movimentos do tornozelo . . .	75
Figura 34 – Ilustração da densidade de probabilidade do método Gerador de Número Aleatório Tendencioso (GNAT). Fonte: Próprio autor.	76
Figura 35 – Frequência f_1 "injusta"(70%) com $N = 2$ para os 3 métodos ao longo das iterações. Fonte: Próprio autor.	81
Figura 36 – $E(M)$ em função de M para o caso "injusto" com $N = 6R$. Fonte: Próprio autor.	82
Figura 37 – Baralho francês de 52 cartas	84
Figura 38 – Formação mais comum das cartas de baralho. Fonte: Glamber Romania (GAMBLER ROMANIA, 2016).	84
Figura 39 – Versões simplificadas das cartas	85
Figura 40 – Conceito principal de disposição das cartas no jogo. Fonte: Próprio autor.	86
Figura 41 – Plataformas de Design e Desenvolvimento. Fonte: Próprio autor.	86
Figura 42 – Interface do jogo com o jogador e seus elementos	87
Figura 43 – <i>Feedback</i> visual da decisão do jogador. Fonte: Próprio autor.	88
Figura 44 – Diversidade de modos de jogo. Fonte: Próprio autor.	88
Figura 45 – Tela de resultados após uma partida	89
Figura 46 – Painéis de interface para o pesquisador. Fonte: Próprio autor.	91
Figura 47 – Indivíduo jogando com o AnkleBot	92
Figura 48 – Ciclo de eventos durante cada turno	93
Figura 49 – 1º Comparativos com Tempo para Fazer. Fonte: Próprio autor.	94
Figura 50 – 2º Comparativos com Tempo para Fazer. Fonte: Próprio autor.	95
Figura 51 – Envelope de movimento e espaço de trabalho	97
Figura 52 – Mudança de coordenada do envelope de movimento e espaço de trabalho para coordenadas polares. Fonte: Próprio autor.	98
Figura 53 – Índice de Alcance e o Tempo de Escolha em relação aos quadrantes de movimentos	98
Figura 54 – Amplitude e Quadrante de movimento de uma jogada ao longo do tempo. Fonte: Próprio autor.	99

Figura 55 – Amplitude de Movimento ao longo do tempo. Fonte: Próprio autor. . .	100
Figura 56 – Amplitude Movimento ao longo do tempo normalizados. Fonte: Próprio autor.	100
Figura 57 – Amplitude Movimento ao longo do tempo normalizados de todas as jogadas de um indivíduo	101
Figura 58 – Caracterização das jogadas de cada indivíduo pela Amplitude Movimento. Fonte: Próprio autor.	101
Figura 59 – Quadrante de Movimento ao longo do tempo. Fonte: Próprio autor. . .	103
Figura 60 – Amplitude de Movimento Transversal ao longo do tempo normalizados. Fonte: Próprio autor.	103
Figura 61 – Amplitude Transversal de Movimento ao longo do tempo normalizados de todas as jogadas de um indivíduo	104
Figura 62 – Caracterização das jogadas de cada indivíduo pelo Quadrante de Movimento. Fonte: Próprio autor.	104
Figura 63 – Opinião geral dos indivíduos após os testes	106
Figura 64 – Tempo para Jogar médio em relação ao ACE-R para cada indivíduo . .	108
Figura 65 – Tempo para Reagir médio em relação ao ACE-R para cada indivíduo .	109
Figura 66 – Tempo para Escolher médio em relação ao ACE-R para cada indivíduo	110
Figura 67 – Região de nova calibração pelo método proposto	141
Figura 68 – Segundo método de calibração proposto. Fonte: Próprio autor.	144
Figura 69 – Hierarquia de Classes do Projeto em C#	145
Figura 70 – Estudo do envelope do indivíduo 1	151
Figura 71 – Estudo do envelope do indivíduo 2	151
Figura 72 – Estudo do envelope do indivíduo 3	152
Figura 73 – Estudo do envelope do indivíduo 4	152
Figura 74 – Estudo do envelope do indivíduo 5	153
Figura 75 – Estudo do envelope do indivíduo 6	153
Figura 76 – Estudo do envelope do indivíduo 7	154
Figura 77 – Estudo do envelope do indivíduo 9	154
Figura 78 – Estudo do envelope do indivíduo 10	155
Figura 79 – Estudo do envelope do indivíduo 11	155
Figura 80 – Estudo do envelope do indivíduo 12	156
Figura 81 – Estudo do envelope do indivíduo 13	156
Figura 82 – Estudo do envelope do indivíduo 14	157
Figura 83 – Estudo do envelope do indivíduo 15	157
Figura 84 – Tempo para Jogar versus ACE-R por Modo de Jogo	159
Figura 85 – Tempo para Reagir versus ACE-R por Modo de Jogo	160
Figura 86 – Tempo para Escolher versus ACE-R por Modo de Jogo	160

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pacotes de dados entre o jogo e o robô em ambos os sentidos.	55
Tabela 2 – Probabilidades dos testes realizados. Fonte: Próprio autor.	80
Tabela 3 – Resultado final das frequências de cada testes. Fonte: Próprio Autor. . .	80
Tabela 4 – Resultados dos testes para os 3 métodos propostos com I iterações ($I = 1000$). Fonte: Próprio autor.	81
Tabela 5 – M_{max} ideal para alguns valores de N com I iterações. Fonte: Próprio autor.	81
Tabela 6 – Resultados da aleatoriedade dos testes para os 3 métodos propostos. Fonte: Próprio autor.	82
Tabela 7 – Resultado ACE-R (AR) dos indivíduos (Ind.) junto com Atenção e Orientação (AO), Memória (ME), Fluência (FV) Verbal, Linguagem (LG) e Visual Espacial (VE). E as respectivas familiaridades com Jogos Virtuais (J) e Jogos de Carta (C). Mais a referência (Ref.), média e erro.107	
Tabela 8 – Resultado da Regressão Linear Simplificada	110
Tabela 9 – Resultado da Regressão Linear aprimorada e para cada Modo de Jogo	112
Tabela 10 – Informações dos indivíduos de 1 a 8	148
Tabela 11 – Informações dos indivíduos de 9 a 16	149

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Funções das Classes	146
Quadro 2 – Níveis de Escolaridade	147

LISTA DE SIGLAS

3D Tridimensional

ACE *Addenbrooke's Cognitive Examination*

ACE-R *Addenbrooke's Cognitive Examination Revised*

AFO *Ankle-Foot Orthosis*

AVC Acidente Vascular Cerebral

AVDs Atividades de Vida Diária

AVE Acidente Vascular Encefálico

CEP Comitê de Ética em Pesquisa

CVA *Cerebrovascular Accident*

DLA *Daily Life Activities*

EAP Estrutura Analítica do Projeto

EESC Escola de Engenharia de São Carlos

EM Espaço do Movimento

EFRM Escolhe Frequência Relativa Mínima

EFRN Escolhe Frequência Relativa Negativa

FAC *Functional Ambulation Category*

GNAT Gerador de Número Aleatório Tendencioso

IC Intervalo de Confiança

IMT *Interactive Motion Technologies*

LOTCA *Loewenstein Occupational Therapy Cognitive Assessment*

MEEM Mini Exame do Estado Mental

MIF Medida de Independência Funcional

MRM Modelo de Referência Mecatrônico

ROM *Range of Movement*

TCP *Transmission Control Protocol*

TCL *Tool Command Language*

TCLE Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TUG *Timed Get Up and Go*

UFSCar Universidade Federal de São Carlos

USP Universidade de São Paulo

WBS *Work Breakdown Structure*

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Ângulo genérico relativo ao Espaço de Movimento elíptico.
β	Ângulo genérico relativo ao Espaço de Movimento quadrático.
α_i	Ângulo da posição atual do tornozelo relativo ao Espaço de Movimento.
k	Coordenada X do centro da elipse do Espaço de Movimento.
h	Coordenada Y do centro da elipse do Espaço de Movimento.
k'	Coordenada X do novo centro da elipse do Espaço de Movimento.
h'	Coordenada Y do novo centro da elipse do Espaço de Movimento.
a_b	Dimensão base da elipse do Espaço de Movimento na coordenada X.
b_b	Dimensão base da elipse do Espaço de Movimento na coordenada Y.
a_i	Dimensão base da elipse proporcional da posição atual do tornozelo na coordenada X.
b_i	Dimensão base da elipse proporcional da posição atual do tornozelo na coordenada Y.
a'_b	Dimensão base da nova elipse do Espaço de Movimento na coordenada X.
b'_b	Dimensão base da nova elipse do Espaço de Movimento na coordenada Y.
f_r	Variável genérica para determinar função de calibração.
r_b	Dimensão linear base do quadrado do Espaço de Trabalho do Jogo.
r_i	Dimensão linear base do quadrado proporcional da posição atual do tornozelo.
${}_s\vec{P}$	Posição qualquer sobre a equação paramétrica do quadrado.
${}_e\vec{P}$	Posição qualquer sobre a equação paramétrica da elipse.
${}_s\vec{P}_i$	Posição atual do tornozelo no espaço quadrático.
${}_e\vec{P}_i$	Posição atual do tornozelo no espaço elíptico.

${}_e\vec{P}_j$	Posição oposta a atual do tornozelo em relação ao centro da elipse base no espaço elíptico.
$\vec{O}$	Centro da elipse base.
$\vec{O}'$	Novo centro da elipse base.
${}_sx_i$	Valor na coordenada X da posição atual no espaço quadrático.
${}_sy_i$	Valor na coordenada Y da posição atual no espaço quadrático.
${}_ex_i$	Valor na coordenada X da posição atual no espaço elíptico.
${}_ey_i$	Valor na coordenada Y da posição atual no espaço elíptico.
${}_ex_j$	Valor na coordenada X da posição oposta a atual no espaço elíptico.
${}_ey_j$	Valor na coordenada Y da posição oposta a atual no espaço elíptico.
x_{max}	Máximo valor atingido pela coordenada X.
y_{max}	Máximo valor atingido pela coordenada Y.
x_{min}	Mínimo valor atingido pela coordenada X.
y_{min}	Mínimo valor atingido pela coordenada Y.
${}_s\vec{F}_i$	Força de atuação do <i>Move Box</i> na posição i.
${}_sf_x$	Força de atuação do <i>Move Box</i> no eixo X.
${}_sf_y$	Força de atuação do <i>Move Box</i> no eixo Y.
l	Posição em X do limite esquerdo do <i>Move Box</i> .
r	Posição em X do limite direito do <i>Move Box</i> .
t	Posição em Y do limite superior do <i>Move Box</i> .
b	Posição em Y do limite inferior do <i>Move Box</i> .
D	Parâmetro de amortecimento para força de assistência-resistência.
K	Parâmetro de rigidez para força de assistência-resistência.
r_f	Coordenada linear em coordenadas polares da elipse da força de assistência-resistência.
θ	Coordenada angular em coordenadas polares da elipse da força de assistência-resistência.

a_f	Dimensão base da elipse da força assistência-resistência na coordenada X.
b_f	Dimensão base da elipse da força assistência-resistência na coordenada Y.
${}_e\vec{F}_i$	Força de atuação da Elipse Móvel na posição i.
${}_e\vec{P}_f$	Projeção da posição atual do tornozelo na borda da elipse da força assistência-resistência, em relação ao centro da mesma.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	33
2	OBJETIVO	37
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39
3.1	Acidente Vascular Cerebral	39
3.2	Mecanismos de Reabilitação	40
4	MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1	Metodologia de Projeto	43
4.1.1	Estratégia	44
4.1.2	Portfólio	44
4.1.3	Especificações	45
4.1.4	Planejamento do Projeto	45
4.1.5	Concepção do Projeto	45
4.1.6	Planejamento Técnico	46
4.1.7	Projeto Técnico	46
4.1.8	Homologação	46
4.1.9	Validação	47
4.1.10	Monitoramento	47
4.2	Estrutura Analítica do Projeto	47
4.3	Divisão de Trabalho	48
4.3.1	Patologia	49
4.3.2	Perfil de Usuário	49
4.3.3	Tema do Jogo	49
4.3.4	Exame de Caracterização	49
4.3.5	Tipo de Reabilitação	49
4.3.6	Robô de Reabilitação	50
4.3.7	Definição do Jogo	50
4.3.8	Painel de Controle	50
4.3.9	Armazenamento de Dados	50
4.3.10	Fluxo de Decisões	50
4.4	Estados de Funcionamento	50
4.5	Plataformas de Desenvolvimento	53
5	DESENVOLVIMENTO	55
5.1	Comunicação Jogo-Robô	55

5.2	Jogo Experimental	56
5.2.1	Escolhendo o jogo	56
5.2.1.1	Space Dodger	56
5.2.1.2	Double Pong	57
5.2.2	Estudo do Movimento	59
5.2.3	Transformação de Espaço de Movimento	60
5.2.4	Calibração em Tempo de Execução	63
5.2.5	Controle de Força	64
5.2.6	Resultados Parciais	69
5.2.6.1	Jogo Livre	69
5.2.6.2	Jogo Assistido	70
5.2.6.3	Jogo Resistido	71
5.2.7	Primeiras Conclusões	71
5.3	Exame Cognitivo de Addenbrooke - Revisado	72
5.4	Distribuição de Esforços e Movimentos	74
5.5	Conceito do Jogo	83
5.6	Desenvolvimento do Jogo	85
5.7	Procedimento para Testes	90
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	93
6.1	Análise Geral do Desempenho	93
6.2	Análise dos Envelopes de Movimento	96
6.3	Análise dos Movimentos no Tempo	99
6.3.1	Amplitude de Movimento	99
6.3.2	Quadrante de Movimento	102
6.3.3	Opinião dos Indivíduos	105
6.4	Análise do Nível Cognitivo	105
6.4.1	Análise Visual dos Desempenhos	107
6.4.2	Análise Através de Regressão	109
7	CONCLUSÕES	115
	REFERÊNCIAS	117
	APÊNDICES	121
	APÊNDICE A – PROJETO PARA COMITÊ DE ÉTICA PARA IN-	
	DIVÍDUOS COM AVC	123
A.1	Hipótese	123

A.2	Objetivo	123
A.3	Recrutamento	123
A.4	Desenho de Estudo	123
A.5	Cálculo Amostral	124
A.6	Critério de Inclusão	124
A.7	Critério de Exclusão	125
A.8	Procedimentos	125
A.8.1	Exame de Cognição de Addenbrooke Revisado (ACE-R)	125
A.8.2	Escala de Ashworth Modificada	126
A.8.3	Functional Ambulation Category (FAC)	126
A.8.4	Escala de Equilíbrio de Berg	126
A.8.5	Índice de Desempenho Motor de Fugl-Meyer	127
A.8.6	Timed Get Up and Go (TUG) - Tarefa Dupla	127
A.8.7	Questionário de Atividade Física Basal	127
A.8.8	Jogo computacional com Anklebot	127
A.9	Análise de Dados	128
A.10	Riscos	128
A.11	Benefícios	129
A.12	Resultado Esperado	129
APÊNDICE B – TCLE - GRUPO CONTROLE		131
APÊNDICE C – TCLE - GRUPO HEMIPARÉTICO		135
APÊNDICE D – TEXTO DE DIVULGAÇÃO E RECRUTAMENTO		139
APÊNDICE E – NOVO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO		141
APÊNDICE F – HIERARQUIA DE CLASSES		145
APÊNDICE G – INFORMAÇÕES DOS INDIVÍDUOS		147
APÊNDICE H – ESTUDO DO MOVIMENTO DOS INDIVÍDUOS		151
APÊNDICE I – DESEMPENHO NOS MODOS DE JOGO VER-		
SUS ACE-R		159
ANEXOS		161
ANEXO A – MEDIDA DE INDEPENDÊNCIA FUNCIONAL		163
ANEXO B – MINI EXAME DO ESTADO MENTAL		165

ANEXO C – VERSÃO BRASILEIRA DO ACE-R	167
---	------------

1 INTRODUÇÃO

O emprego de jogos virtuais em reabilitação tem como um dos objetivos tornar este processo uma experiência melhor para o paciente devido ao número de horas envolvidas e a repetibilidade das atividades: quanto mais imerso no jogo o paciente estiver, mais motivador será.

O sucesso crescente dos jogos virtuais se deve a um conjunto de fatores que entretêm e motivam os jogadores como a arte audiovisual, enredo, desafios e jogabilidade. Jogabilidade é uma informação subjetiva, não é possível mensurar de forma precisa o quão jogável é o jogo ou contabilizar de forma objetiva a qualidade da experiência sentida pelo usuário nas etapas iniciais de desenvolvimento. Essa característica depende muito da própria opinião de cada jogador e pode ser analisada e categorizada dentro de alguns modelos.

Drachen e Göbel (2010) propõem um modelo estruturado em três camadas da experiência de jogabilidade: experiência individual do jogador, do contexto do jogador e do sistema do jogo. Os autores também citam métodos e roteiros para medição e validação de cada uma das camadas. Nesse contexto este trabalho englobou essas três camadas: a experiência individual através do estudo da interface física jogador-jogo (seção 5.4), contexto do jogador focando a temática no público alvo que fará uso do jogo (seção 5.5) e sistema do jogo através do ajuste de dificuldade que se adeque às dificuldades do indivíduo (seção 5.3).

A questão da imersão do jogador também é um dos alvos de estudos, Ermi e Mäyrä (2005) estudam, através de seu modelo, o componente de imersão da jogabilidade categorizando-o em três tipos: imersão sensorial, imersão baseada no desafio e imersão da imaginação. A camada da experiência individual está diretamente ligada a sensação tátil, ou seja, a interface física entre o jogador e o jogo que é um dos estudos desse trabalho, que apesar de não ser mencionado no último estudo citado, seria melhor caracterizado dentro da imersão sensorial, junto com a interface visual e foi dada a devida atenção a ambas as interfaces. A imersão por desafio também foi em foco neste trabalho através do ajuste da dificuldade à capacidade cognitiva do paciente.

A imersão por imaginação não teve muita ênfase nesse trabalho, uma vez que o foco deste trabalho são indivíduos com a capacidade cognitiva afetada pelo Acidente Vascular Cerebral (AVC), também conhecido como "derrame", que ocorre devido a interrupção do fluxo sanguíneo para o cérebro resultando na morte de parte das células cerebrais. Existem dois tipos de AVC: Isquêmico, devido ao comprometimento de alguma artéria cerebral, impedindo assim o fluxo do sangue; Hemorrágico, caracterizado pelo sangramento em uma

parte do cérebro, em consequência do rompimento de um vaso sanguíneo.

Além de AVC e derrame, existe ainda uma terminação mais abrangente que é o Acidente Vascular Encefálico (AVE), porém, recomenda-se a utilização de AVC no meio médico ou científico e derrame, para o público leigo, devido a clareza dos termos por ser mais popular (GAGLIARDI, 2010). Segundo o Manual de Rotinas para Atenção ao AVC (MORO et al., 2013), até o ano de 2013, o AVC representava a primeira causa de morte e incapacidade no país, sendo de grande impacto econômico e social. A fonte ainda cita dados nacionais prospectivos, que indicam um incidência anual de 216 mil casos, com taxa de fatalidade até 30 dias após a ocorrência do AVC de 18,5% e até 12 meses de 30,9% e o índice de recorrência de 15,9%.

O AVC pode causar cinco deficiências principais no paciente: Paralisia e alterações da motricidade, alterações cognitivas, alterações da comunicação, distúrbios emocionais e alterações sensoriais, se tornando necessário que o indivíduo se envolva em um processo de reabilitação, que quanto mais cedo iniciado e quanto maior a intensidade, melhores serão os resultados apresentados nos primeiros meses (KWAKKEL et al., 2004), considerando as Atividades de Vida Diária (AVDs). Diante de todos esses pontos a importância desse trabalho se destaca, pois permite atuar em todas essas deficiências: motricidade e sensorial (táctil) através do mecanismo, cognitivo através do desafio lógico do jogo, comunicação através de instruções do jogo e emocional através de motivação e entretenimento.

Existem instrumentos para mensurar o nível de capacidade do paciente para realizar as AVDs, como por exemplo a Medida de Independência Funcional (MIF) (Apêndice A), que funciona como um índice de independência do paciente. Outro índice de interesse no acompanhamento da recuperação dos pacientes é o do estado mental ou o nível de demência. Existem diversos testes para avaliar o nível de demência, desde testes de triagem como o Mini Exame do Estado Mental (MEEM) (Apêndice B), que pode ser realizado em menos de dez minutos, até testes mais complexos como o *Addenbrooke's Cognitive Examination Revised* (ACE-R) (Apêndice C) que engloba o MEEM, mas demanda um pouco mais de tempo, e o *Loewenstein Occupational Therapy Cognitive Assessment* (LOTCA) (KATZ et al., 1989), que demanda itens próprios para sua aplicação sendo mais extenso e sendo um teste de custo elevado para sua aquisição.

É possível citar também um teste bastante simples chamado "Teste do Relógio" que apresenta uma boa correlação com outros testes cognitivos (AGRELL; DEHLIN, 1998), e que visa auxiliar a identificar a chamada negligência espacial (HEILMAN; VALENTIN; WATSON, 2000 apud APPELROS et al., 2002, p. 1). Também existem exames computadorizados, inclusive para auto aplicação como o Screen (TORNATORE et al., 2005), que apesar de ser um testes virtual não possui uma camada de abstração como uma interface de jogo, que vem a trabalhar como uma distração para o paciente durante a avaliação. Então, como diretriz na questão cognitiva optaremos pelo ACE-R por ser

um teste abrangente o suficiente e não demandar grandes esforços do paciente para sua execução.

Algumas das AVDs envolvem a capacidade de ficar de pé e se locomover, e o tornozelo tem participação fundamental na execução dessas atividades e foi a articulação foco deste trabalho. Com a paralisia ou alteração na motricidade, o lado do corpo afetado apresenta hipotonia, ou seja, tônus muscular muito baixo, que representa baixa resistência ao movimento passivo e faz com que o indivíduo tenha dificuldade em posicionar o membro atingido, principalmente nas primeiras semanas. Quando se trata do tornozelo, essa hipotonia afeta o equilíbrio, o padrão de marcha e o gasto energético na deambulação (FATONE; HANSEN, 2007), fazendo-se então necessário o uso de Órteses de Tornozelo-Pé ou *Ankle-Foot Orthosis* (AFO). O princípio de assistência dos AFO compensa o déficit de força do tornozelo, portanto serve como diretriz na questão da alteração motriz do movimento do indivíduo para este trabalho, indicando os movimentos de maior importância a serem reabilitados.

O AVC pode ocorrer em qualquer idade, inclusive em crianças, porém ocorre majoritariamente em pessoas com idade mais avançada, especialmente após os 55 anos (WOLF et al., 1991). Além de atender às questões técnicas, este projeto tem também como objetivo fornecer um ambiente de jogo agradável e com familiaridade (segundo a cultura e os silos de vida) para esses pacientes, principalmente os pacientes de idade mais avançada, sem deixar de contemplar as demais idades. Pensando nisso, o jogo foi baseado em cartas de baralho, que é um elemento de jogo tradicional na cultura brasileira, presente nos dias de hoje, e ainda possui elementos alfanuméricos e símbolos para explorar conjuntamente a capacidade cognitiva do paciente.

Existem diversos exames cognitivos e motores para avaliar o dano causado aos indivíduos, bem como sua melhora ao longo da terapia, porém a área da saúde carece de ferramentas que possam unir a avaliação com a ferramenta de reabilitação, que é o motivo de correlacionar o desempenho do jogador com seu nível cognitivo. Portanto esse é um trabalho multidisciplinar envolvendo três principais frentes: o jogo proporcionando o desafio intelectual, enquanto o mecanismo robótico proporcionando o desafio físico ou a assistência, ambos auxiliando a terceira frente que é a reabilitação do movimento, ilustrados, respectivamente, pelos círculos verde, vermelho e azul na Figura 1.

Figura 1: Ilustração multidisciplinaridade deste trabalho. Fonte: Próprio autor.

2 OBJETIVO

O objetivo principal desse trabalho é desenvolver um jogo que tenha níveis de dificuldades que sejam possíveis de serem correlacionados com os pontos dos níveis cognitivos do paciente obtidos no ACE-R (seção 5.3). As premissas do jogo devem abranger o máximo de sub-níveis cognitivos possíveis dentre os avaliados pelo teste, neste primeiro momento não é necessário abranger todos, como por exemplo fluência da linguagem.

Esse trabalho também tem alguns outros objetivos, sob a demanda específica de reabilitação de tornozelo (seção 3.2), o jogo deve dar como objetivo para o paciente os movimentos que fortaleçam os tônus que favorecem o equilíbrio e a deambulação (seção 5.4). O jogo também tem como objetivo oferecer uma interface amigável e uma temática familiar com larga abrangência etária, contendo elementos de fácil reconhecimento e assimilação (seção 5.5).

Em resumo, o jogo deve ser uma ferramenta para o profissional da saúde, tanto para a questão reabilitativa quanto de acompanhamento da evolução de forma objetiva do paciente.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é realizada uma revisão bibliográfica das duas principais frentes que envolvem esse projeto: o perfil do indivíduo e sua patologia (seção 3.1); cenário reabilitação robótica em geral e no laboratório de dinâmica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP) (seção 3.2), onde este trabalho foi realizado.

3.1 Acidente Vascular Cerebral

O AVC é uma das maiores preocupações da saúde no mundo, sendo a segunda maior causa de morte no mundo e a terceira maior de incapacitação (JOHNSON et al., 2016). No Brasil, são registradas cerca de 68 mil mortes por AVC anualmente. A doença representa a primeira causa de morte e incapacidade no País, o que gera grande impacto econômico e social (PORTAL BRASIL, 2014).

Os pacientes que apresentam incapacidades passam por um longo e complexo programa de reabilitação. Esses indivíduos tornam-se limitados na realização das AVDs, como caminhar, subir e descer degraus, realizar cuidados pessoais e trabalhar (GILES; ROTHWELL, 2008; MAKI et al., 2006).

O AVC tem como uma de suas consequências a hipotonia, ou seja, tônus muscular muito baixo, que representa baixa resistência ao movimento passivo, como se o coeficiente de rigidez do tornozelo diminuísse e consequentemente deixa com dificuldades de posicionar o membro atingido, principalmente nas primeiras semanas. Como consequência esta fraqueza dos músculos dorsiflexores dificultam a sustentação do pé durante a caminhada, esse fenômeno é conhecido como "pé caído" tratando-se de um problema que limita o caminhar, por dificultar o apoio com o calcanhar e arrastar os dedos do pé durante a fase de balanço, resultando em instabilidade e quedas (KNARR et al., 2013).

Além da questão motora-muscular, o indivíduo ainda conta em alguns casos com o déficit cognitivo. Estima-se que três meses após o AVC, em torno de 60% dos pacientes sofrem de grade ou parcial déficit em pelo menos um domínio cognitivo (POHJASVAARA et al., 1998), que vem a contribuir ainda mais na dificuldade em realizar as AVDs. Uma das principais deficiências cognitivas é a negligência espacial, que resulta na falha de relatar ou responder a estímulos apresentados ao lado oposto à lesão cerebral, quando isto não pode ser atribuído a déficits sensoriais ou motores (HEILMAN; VALENSTEIN; WATSON, 2000 apud APPELROS et al., 2002, p. 1).

A reabilitação de pacientes atingidos pelo AVC é possível graças a uma característica do cérebro conhecida como neuroplasticidade (DIMYAN; COHEN, 2011) em que outras

células do cérebro, não afetadas pelo derrame, passam a assumir as funções das células afetadas. Essas características do AVC estão citadas nas próximas seções relacionadas com o planejamento e desenvolvimento do projeto.

3.2 Mecanismos de Reabilitação

Analisando o cenário dos mecanismos de reabilitação, grupos e empresas tem trabalhado no sentido de proporcionar uma melhora mais rápida do paciente através da integração de seus produtos com jogos e alguns podem ser citados. Virtualware (2016) usa um sensor de visão (aparato de baixo custo), especificamente o *Leap Motion* (LEAP-MOTION, 2018) para reabilitação de mão e punho e Kinect 2 (KINECT2, 2018) para ombro e joelho. *Interactive Motion Technologies* (IMT, 2017) possui mecanismos robóticos para membros superiores (cotovelo, ombro, punho e mão) e membros inferiores (tornozelo especificamente). O uso de mecanismos robóticos permite que a reabilitação imponha esforços ao indivíduo e desafios de maneira mais lúdica. Hocoma (2017) tem, além dos mecanismos robóticos, mecanismos passivos, também integrado com games, que permitem treino baseado em esforços com equipamentos de baixo custo.

Dentro do contexto do Laboratório de Reabilitação Robótica da USP de São Carlos, onde este projeto foi desenvolvido, sendo que o primeiro trabalho realizado voltado para reabilitação robótica foi de Ribeiro (2004) que consistiu no desenvolvimento de uma bicicleta para reabilitação de crianças com deficiência motora nas pernas (Figura 2a).

Desde então mecanismos de reabilitação vem sendo desenvolvidos e estudados para o desenvolvimento dessa área, como por exemplo um mecanismo para tornozelo (ANDRADE et al., 2011) apresentado na Figura 2b ou de pulso (CONSONI et al., 2012) na Figura 2d. A Figura 2c e Figura 2e apresentam dois dos projetos mais recentes que vem explorando o conceito de exoesqueleto (SANTOS et al., 2017) e manufatura aditiva (ELUI et al., 2017).

O Laboratório de Reabilitação Robótica também possui um mecanismo AnkleBot (ROY et al., 2009) da *Interactive Motion Technologies* (IMT) (Figura 3), que foi utilizado para este projeto. Esse é um mecanismo de reabilitação para o membro inferior do corpo, mais precisamente para o tornozelo. Ele opera em plataforma Ubuntu versão 5.1 e seu algoritmo de controle foi desenvolvido em linguagem C.

O mecanismo conta com dois acionadores lineares conectados entre a perna e o pé do paciente, os acionadores trabalhando no mesmo sentido fazem os movimentos de dorsiflexão e planiflexão e trabalhando em sentidos opostos fazem os movimentos de eversão e inversão, conforme ilustra a Figura 4.

(a) Bicicleta para reabilitação de crianças. (RIBEIRO, 2004)

(b) Mecanismo para tor-
nozelo. (ANDRADE et al., 2011)

(c) Conceito exoesque-
leto. (SANTOS et al., 2017)

(d) Mecanismo para pulso. (CONSONI et al., 2012)

(e) Manufatura aditiva. (ELUI et al., 2017)

Figura 2: Alguns mecanismos de reabilitação desenvolvido no Laboratório de Reabilitação Robótica da USP São Carlos. Fonte: Respektivas referências.

Figura 3: Mecanismo de Reabilitação AnkleBot. Fonte: Roy et al. (2009)

Figura 4: Movimentação do AnkleBot. Fonte: Próprio autor

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta inicialmente as etapas da metodologia de projetos utilizada, que está sintetizada em subsecções e nas secções consecutivas um maior detalhamento de cada tópico relativo a esse projeto.

A sociedade mundial vive atualmente um período de transição que pode ser definido como a terceira fase da Revolução Industrial, ou também como a era do Conhecimento, embasada nas novas filosofias e relações de trabalho (RODRIGUES et al., 2015). As necessidades ou desejos dos consumidores de obter vantagens oferecidas por um dado serviço ou produto criam as demandas atuais.

Neste cenário, o desenvolvimento de projetos de produtos se torna uma atividade essencial e permanente tanto na indústria como na pesquisa, lidando com produtos cada vez mais complexos e interdisciplinares, visando a eficiência de produção e custos de um dado projeto (BARBALHO, 2006). Tratando-se de interdisciplinaridade na engenharia, é indispensável citar a mecatrônica, que é a área na qual este projeto está inserido, englobando assim, pelo menos duas das frentes tecnológicas envolvidas: jogos e robótica (Figura 1).

4.1 Metodologia de Projeto

No sentido de metodologia de projetos, Barbalho (2006) propõe um Modelo de Referência Mecatrônico (MRM) baseado nas melhores práticas sistematizadas da bibliografia de desenvolvimento de produto e serviu como direcionamento para este projeto.

Barbalho (2006), discute a diversidade de entendimento relacionada à mecatrônica e a evolução do seu conceito na bibliografia científica ao longo dos anos desde o surgimento no final da década de 80. Segundo o autor, o primeiro a desenvolver uma perspectiva funcional do termo foi Buur e Andreasen (1990 apud BARBALHO, 2006, p. 14).

"Mecatrônica é uma tecnologia que combina mecânica com eletrônica e tecnologia da informação para compor tanto uma interação funcional como uma integração espacial de componentes, módulos, produtos e sistemas."

Baseado nessa definição, pode-se listar e classificar as tecnologias envolvidas nesse projeto como um todo, é possível notar o nível de interdisciplinaridade envolvida, sendo claramente categorizado como um projeto mecatrônico (Figura 5).

A sequência de fases do MRM é baseada na técnica de cadeia de agregação de valor, cada fase é definida em função dos resultados gerados. Esse modelo é pensado na

Figura 5: Tecnologias envolvidas neste trabalho. Fonte: Próprio autor.

aplicação comercial para empresas, sendo mais abrangente que o necessário para esse ciclo de desenvolvimento desse projeto, portanto nem todas as fases do MRM (Figura 6) eram aplicáveis ou foram alcançadas pelo desenvolvimento desse projeto. Não foram contempladas as fases: Otimização, Lançamento e Monitoramento. A seguir, são apresentadas de forma sintetizada as fases do MRM aplicadas a esse projeto e nas próximas seções o detalhamento dos tópicos envolvidos.

Figura 6: Fases do MRM. Fonte: Barbalho (2006).

4.1.1 Estratégia

Nessa fase define-se os objetivos estratégicos a serem perseguidos pelo produto, os quais já foram previamente apresentados no Capítulo 2 e é, em resumo, desenvolver uma ferramenta que sirva tanto para a questão reabilitativa, quanto para o acompanhamento da evolução do paciente.

4.1.2 Portfólio

Na fase do portfólio informações de mercado devem ser levantadas em função da estratégia traçada, deve-se identificar produtos potenciais e realizar uma análise dos concorrentes e em seguida é necessário analisar o portfólio atual, que no caso foram os projetos

do Laboratório de Reabilitação Robótica da EESC da USP, que foram apresentados na seção 3.2.

4.1.3 Especificações

O objetivo dessa fase é identificar as características necessárias para compor o projeto dentro das estratégias traçadas na etapa anterior e o interesse do público alvo. As diretrizes para as especificações do produto já foram previamente discutidas no Capítulo 1 e são discutidas em detalhes nas seções a seguir:

O produto deve ter níveis de dificuldade possível de correlacionar com os pontos dos níveis cognitivos do paciente (seção 5.3), oferecer um plano de treino que favoreça a reabilitação de tornozelo (seção 5.4) e oferecer uma interface amigável para o público alvo (seção 5.5).

4.1.4 Planejamento do Projeto

Nesta etapa o projeto é dividido sistematicamente para dar uma visão geral e definir as estruturas e trabalhos realizados. Primeiramente é feita uma divisão estrutural (seção 4.2), onde as partes físicas e funcionais do projetos são organizados estruturalmente. A partir disso é possível definir as etapas de trabalho (seção 4.3) que são as atividades necessárias para o desenvolvimento do projeto e, com isso, o cronograma de desenvolvimento.

4.1.5 Concepção do Projeto

Nessa etapa são identificadas as alternativas de concepção do projeto através das especificações do projeto. Para isso é necessário duas tarefas importantes: 1) Identificação dos estados ou modos de funcionamento do produto; 2) A identificação das funções a serem executadas em cada estado. Essas tarefas são apresentadas na seção 4.4. Aplicado a esse projeto, esse recurso serve para a familiarização com as tecnologias envolvidas:

1) Plataforma de desenvolvimento de jogos (seção 4.5); 2) Mecanismo de reabilitação robótica (seção 3.2), além de estabelecer a conexão entre os dois (seção 5.1).

Esta etapa também é responsável pela elaboração do primeiro protótipo, o protótipo de concepção que foi utilizado para provar a concepção do produto em termos de componentes principais e formas de relacionamento entre eles. (BARBALHO, 2006). Para isso foram desenvolvidos jogos baseados em já existentes e consolidados no mercado para funcionar em conjunto com o mecanismo robótico de sua origem seção 5.2.

Em resumo esta etapa serve tanto para preparar uma plataforma de desenvolvimento para o projeto, como para identificar as limitações e possibilidade para as próximas fases do desenvolvimento.

4.1.6 Planejamento Técnico

Esta etapa é responsável por consolidar a arquitetura do produto identificando os componentes tecnológicos para implementar a concepção selecionada. A partir do agrupamento dos elementos funcionais do sistema (Figura 7) e da concepção do produto (Figura 9), as soluções técnicas são definidas em função do fluxo de decisões (Figura 8).

As decisões partem inicialmente da patologia, que foi discutida na seção 3.1. A partir dos indivíduos portadores dessa patologia é possível definir o perfil do usuário que serviu como diretriz para definir a interface do jogo. Ainda partindo da patologia, define-se o exame de caracterização ao qual o jogo se baseia (seção 5.3) e, por fim, qual é o membro a ser reabilitado, para definir o robô de reabilitação a se utilizar (seção 3.2).

Esses três elementos (interface do jogador, exame de caracterização e robô de reabilitação) serviu de diretriz para definir o conceito do jogo, que é apresentado na seção 5.5.

Uma vez definido o conceito do jogo, é possível determinar a interface do pesquisador com o jogo, onde ele realiza as configurações e operações necessária para a reabilitação. Através da definição do conceito do jogo e baseado também pelas características do robô é possível determinar os dados que são armazenados para análise posterior.

4.1.7 Projeto Técnico

Esta etapa consiste no desenvolvimento do jogo em si, baseado nas decisões tomadas nas etapas anteriores e utilizando todas as ferramentas e plataformas definidas durante o planejamento do projeto. O desenvolvimento é apresentado na seção 5.6.

4.1.8 Homologação

Esta etapa é responsável por validar o processo de fabricação em condições normais de operação do produto. Aplicado a este projeto, a etapa de homologação é responsável por certificar que os experimentos com pacientes utilizando o jogo sejam viáveis sob a ótica ética.

Para isso, um projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) através da Plataforma Brasil ¹ do Ministério da Saúde (Apêndice A).

¹ Disponível em <<http://plataformabrasil.saude.gov.br>> dia 18/01/2018

4.1.9 Validação

Para esta primeira etapa do desenvolvimento, antes de testar com pacientes, o jogo é testado com indivíduos saudáveis, também sob aprovação de um comitê de ética² e com consentimento de cada um dos indivíduos através do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice B).

4.1.10 Monitoramento

O monitoramento do projeto é realizado através dos resultados armazenados pelo jogo durante as sessões (Capítulo 6). Um *feedback* importante é a opinião dos indivíduos que testarem o jogo nessa etapa (subseção 6.3.3).

4.2 Estrutura Analítica do Projeto

A Estrutura Analítica do Projeto (EAP) representa o desdobramento das partes do produto em uma estrutura de itens entregáveis (BARBALHO, 2006). Para isso é preciso identificar os componentes envolvidos nesse projeto.

Como um projeto de reabilitação, pode-se dizer que existem dois usuários finais:

1. O paciente, que será beneficiado pelos métodos reabilitativo, será tratado como usuário direto;
2. O pesquisador, que será beneficiado pela ferramenta facilitadora, será tratado como usuário indireto. Sendo esse um membro da área da saúde ou envolvido no projeto.

O paciente fica em contato direto com o mecanismo e com a interface, utilizando o mecanismo como controle e recebendo esforços, podendo ser em forma de ajuda ou de resistência para fortalecimento. Já o pesquisador fica em contato indireto com o sistema, é responsável pela configuração do jogo e pela análise dos dados relativos ao desempenho do paciente no processo.

Para o sistema pode-se então listar os componentes que envolvem as três dimensões citadas na Figura 5:

1. Atuadores, que fazem parte do mecanismo robótico;
2. Equipamentos, que são responsáveis por equipar o robô no jogador;
3. *Drivers*, que são responsáveis por operar os atuadores;
4. Sensores, que são responsáveis por mensurar a interação do atuador com o ambiente;

² Certificado de Apresentação para Apreciação Ética: 26054813.1.0000.5504 - Para participação de indivíduos saudáveis pertencentes ao corpo universitário do campus São Carlos da USP

Através dos elementos apresentados no EAP foi definido o fluxo de decisões (WBS) e o cronograma macro de atividades. Uma vez que o jogador é o usuário direto, ele foi a origem das tomadas de decisões do projeto.

4.3.1 Patologia

Tratando-se de um jogo visando a reabilitação, o usuário direto deve ter alguma patologia, então nesse momento é definido qual foi essa patologia que serve de diretriz para o projeto. Uma vez definida a patologia, três decisões devem ser tomadas. 1) Qual é o perfil do usuário; 2) Qual é o exame de caracterização; 3) Qual é o tipo de reabilitação.

4.3.2 Perfil de Usuário

O perfil de usuário é uma ou um conjunto de características majoritariamente comum entre os indivíduos. Isso não remete às características da patologia que por si só possuem seus padrões, mas àquelas do próprio indivíduo, tal como idade, estilo de vida ou alimentação.

4.3.3 Tema do Jogo

Uma vez traçado o perfil do usuário, o mesmo deve-se servir como diretriz para a interface com o jogador. Esse item deve favorecer a imersão do indivíduo, portanto deve-se definir um conceito de jogo agradável e condizente com esse perfil.

4.3.4 Exame de Caracterização

O exame de caracterização, como o próprio nome diz, é uma ferramenta para caracterizar o indivíduo uma vez que uma dada patologia pode se expressar de formas diferentes em cada indivíduo. Uma vez definido o exame de caracterização, o mesmo deve servir como diretriz para o planejamento dos desafios do jogo bem como o que se espera analisar com as decisões tomadas pelo jogador. Vale destacar que a ideia não é digitalizar o exame e sim basear-se nele para a criação do conceito do jogo que serve como camada de abstração em relação à questão de examinação.

4.3.5 Tipo de Reabilitação

Cada patologia pode vir a afetar o funcionamento dos órgãos, sistemas ou membros do indivíduo de diferentes formas e, quando possível a reabilitação, diferentes procedimentos direcionam o tratamento dela. A reabilitação robótica pode trabalhar na reabilitação dos membros superiores e inferiores.

4.3.6 Robô de Reabilitação

Uma vez definida o tipo de reabilitação, foi possível definir qual o mecanismo robótico que a se utilizar no projeto. Foi possível partir desse ponto para definir o projeto de um novo mecanismo robótico que se adeque ao membro a ser reabilitado e se adeque ao jogo estabelecido. Também foi possível optar por um robô já homologado e, nesse caso, adequar o jogo às limitações desse mecanismo.

4.3.7 Definição do Jogo

Uma vez definidos o tema do jogo, exame de caracterização e mecanismo robótico, foi possível determinar o conceito do jogo desenvolvido em função das limitações ou demandas desses três itens citados. O jogo deve gerenciar os desafios cognitivos pela interface visual e físicos pelo robô baseado nos desafios oferecidos pelo exame de caracterização. Nessa etapa também foi necessário determinar a plataforma de desenvolvimento do jogo, bem como estabelecer seu protocolo de conexão com o robô.

4.3.8 Painel de Controle

O painel de controle é a interface do pesquisador com jogo, onde o pesquisador define os parâmetros do jogo, níveis e tipos de desafios a serem apresentados ao jogador, configurações do sistema, bem como informações do jogador. Também é a interface responsável por estabelecer a conexão com o robô e os parâmetros de configuração em relação a ele.

4.3.9 Armazenamento de Dados

Uma vez conhecida a mecânica do jogo e o mecanismo de reabilitação, foi possível determinar quais eram as informações a serem armazenadas para cada partida, tanto relativo aos desafios proposto pelo jogo, como os movimentos realizados pelo jogador ao longo das partidas.

4.3.10 Fluxo de Decisões

A partir dos elementos citados nas seções anteriores foi possível esquematizar em forma de diagrama de blocos o fluxo de decisões para uma visão geral das etapas envolvidas e, posteriormente, traçar o cronograma de atividades. Esse diagrama está ilustrado na Figura 8.

4.4 Estados de Funcionamento

Barbalho (2006) sugere duas principais tarefas para a concepção do projeto. Primeiro definir quais são os estados ou modos de funcionamento do produto e, em seguida, identificar as funções executadas em cada um dos estados.

Figura 8: Fluxo de Decisão das atividades de desenvolvimento do projeto. Fonte: Próprio autor.

Na seção 4.2 foram determinados dois usuários para o produto (pesquisador e jogador) e para cada um deles o produto oferece ferramentas de utilização. Para o pesquisador o produto deve conter opções de configuração do jogo e do robô. O produto deve garantir a segurança da operação, portanto o pesquisador deve efetuar *login* para utilizá-lo. O pesquisador também é responsável por conectar o jogo com o robô. A operação do jogador é jogar, e será sua única operação. Porém, durante esse processo, sem a atuação do jogador, o produto passa por duas atividades, calibração do movimento e registro de todas as atividades envolvidas no jogo. Desta forma é possível listar os 6 estados:

1. Configurar - ajuste do jogo e do robô;
2. Logar - efetuar entrada de usuário e senha;
3. Conectar - estabelecer conexão entre jogo e robô;
4. Jogar - operação principal do jogador;
5. Calibrar - ajuste do espaço de movimento;
6. Registrar - armazenar todas as atividades envolvidas.

Buur e Andreasen (1990 apud BARBALHO, 2006, p. 43) sugere modelos de diagramas através de blocos funcionais. O primeiro diagrama ilustra os estados descritos acima, as transições entre eles e a divisão entre os estados durante a operação de cada um dos usuários, ilustrado na Figura 9.

Em seguida, as principais funções e seus respectivos fluxos de funcionamento são traçados, formando assim a estrutura funcional do produto, dando uma visão geral do seu funcionamento, como ilustrada na Figura 10.

Figura 9: Estados do produto e as transições entre eles. Fonte: Próprio autor.

Figura 10: Estrutura funcional do produto com as funções e o fluxo de funcionamento. Fonte: Próprio autor.

E para finalizar, o diagrama de funções ativas da Figura 11 para estabelecer a conexão entre os dois diagramas (Figuras 9 e 10). Esse diagrama ilustra quais funções estão ativas para cada estado de funcionamento.

Figura 11: Diagrama de funções ativas que relaciona o diagrama de estados e o funcional. Fonte: Próprio autor.

4.5 Plataformas de Desenvolvimento

O programa Unity 3D (UNITY3D, 2017) foi escolhido como plataforma de desenvolvimento devido sua flexibilidade, pois tanto o desenvolvimento como a implementação do jogo podem ser feita em diversas plataformas como Linux, Windows e Mac OS, ampliando o leque de possibilidades para futuros trabalhos. O projeto foi desenvolvido sempre na versão mais atual, no sistema operacional Windows 10 e em linguagem C#.

O Unity não conta com ferramentas de modelagem 3D, apenas formas geométricas simples, tal como esfera e paralelogramo, para isso foi necessário utilizar outra ferramenta e importar o modelo. Para esse fim foi utilizado o software livre Blender (BLENDER, 2017).

5 DESENVOLVIMENTO

5.1 Comunicação Jogo-Robô

Para tornar a ferramenta mais versátil, foi desenvolvido um algoritmo de cliente *Transmission Control Protocol* (TCP) no computador que opera o AnkleBot com um protocolo para se comunicar com o algoritmo de servidor TCP que foi implementado no jogo em outro computador (Figura 12), viabilizando assim o uso da plataforma de desenvolvimento em qualquer sistema operacional em conjunto com o mecanismo de reabilitação.

Figura 12: Esquema de comunicação entre o robô e o jogo. Fonte: Próprio autor

Essa implementação viabiliza diversas opções, como por exemplo, o uso de diferentes robôs para o mesmo jogo, jogos multi-jogadores com diferentes mecanismos simultaneamente e a tele-reabilitação, com o fisioterapeuta e/ou outros pacientes interagindo a distância.

Foi estabelecido um protocolo de comunicação entre o jogo e o robô com dois pacotes de informações diferentes, um no sentido do jogo para o robô e outro no sentido contrário, do robô para o jogo. Esses pacotes estão representados na Tabela 1, as variáveis estão apresentadas secção seguinte (subsecção 5.2.2).

Tabela 1: Pacotes de dados entre o jogo e o robô em ambos os sentidos.

Tamanho (Bytes)	4 B	32 B	32 B	32 B	32 B	32 B	32 B
Jogo $\rightarrow$ Robô	Comando para o Robô	h	k	a_b	b_b	K_s	D_s
Robô $\rightarrow$ Jogo	Status do Robô	eP_x	eP_y	eV_x	eV_y	ea_x	ea_y

Durante a etapa de desenvolvimento o servidor ficou situado no computador do robô e o cliente no computador do jogo, para poder manter a conexão aberta no robô para o jogo poder conectar e desconectar e agilizar o processo de desenvolvimento e testes. Posteriormente é possível inverter para, por exemplo, multijogador com mais de um robô.

5.2 Jogo Experimental

Esta etapa serve para fundir as tecnologias envolvidas, que é a plataforma de desenvolvimento de jogos (seção 4.5) e o mecanismo de reabilitação robótica (seção 3.2) através da conexão entre os dois anteriormente citada (seção 5.1). Para isso foram desenvolvidos jogos baseados em já existentes e consolidados no mercado para funcionar em conjunto com o mecanismo robótico de sua origem (MICHMIZOS; KREBS, 2012).

Essa etapa serve tanto para preparar uma plataforma de desenvolvimento para o projeto, como para identificar as limitações e possibilidade para as próximas fases do desenvolvimento.

5.2.1 Escolhendo o jogo

Como uma proposta inicial, surgiu a ideia de criar uma nova geração de jogos baseados nos que já são oferecidos pela IMT com o AnkleBot, por já ser conhecido e aceito entre os fisioterapeutas e pacientes. Esses jogos que foram desenvolvidos em linguagem *Tool Command Language* (TCL) e pacote de ferramentas gráficas TK (não é uma sigla), o uso da plataforma Unity 3D possibilita um grande melhoramento, tanto em termos de aparência, como de desenvolvimento de jogos. Dois dos três jogos disponíveis foram escolhidos inicialmente para a adaptação, o *Race for Noah's Ark* e o *The Shipwreck* (MICHMIZOS; KREBS, 2012).

5.2.1.1 Space Dodger

O primeiro jogo a ser utilizado como base foi o *Race for Noah's Ark*, que consiste em um objeto amarelo controlado pelo jogador percorrendo uma pista que oferece obstáculos ao longo do tempo. O objetivo do jogador é movimentar o objeto para cima e para baixo para desviar dos obstáculos em tempo hábil, ou seja, antes da colisão (Figura 13).

A adaptação traz o jogo *Space Dodger*, que consiste também em um objeto controlado pelo jogador, porém com um formato definido, mais precisamente uma nave espacial. Para manter a mecânica do jogo, o objetivo é o mesmo, ele deve desviar dos obstáculos oferecidos (meteoros) em tempo hábil (Figura 14). O jogo é modelado em um ambiente Tridimensional (3D) com vista em topo e o jogador utiliza de um grau de liberdade para executar o jogo.

O jogo pode operar em dois modos: um com a nave avançando na horizontal, permitindo que o jogador desvie dos objetos movimentando-a na vertical através dos

Figura 13: Jogo *Race for Noah's Ark* oferecido pela IMT com Anklebot. Fonte: Michmizos e Krebs (2012).

Figura 14: Jogo *Space Dodge* inspirado no *Race for Noah's Ark*. Fonte: Próprio Autor.

movimentos de flexão plantar e dorsiflexão; outro com a nave avançando na vertical, permitindo que o jogador desvie dos objetos movimentando-a na horizontal através dos movimentos de inversão e eversão. Porém, dentro deste conceito de jogo, não é possível utilizar-se de todos os movimentos no mesmo modo de jogo.

5.2.1.2 Double Pong

O segundo jogo a ser utilizado como base foi *The Shipwreck*, que consiste em quatro objetos retangulares, controlados pelo jogador, dispostos ao redor de um quadrado. Nesse quadrado existe um objeto representado por um barco que se move em linha reta numa direção aleatória longo do tempo. O objetivo do jogador é movimentar os objetos para cima e para baixo para desviar dos obstáculos em tempo hábil, ou seja, antes do objeto escapar do quadrado e colidir com as paredes (Figura 15).

Figura 15: Jogo *The Shipwreck* oferecido pela IMT com Anklebot. Fonte: Michmizos e Krebs (2012).

A adaptação traz o jogo *Double Pong*, que consiste também em quatro objetos em formato de blocos, controlados pelo jogador e que são chamadas de raquetes, dispostos ao redor de uma plataforma quadrangular suspensa. Nessa plataforma existe uma esfera que se move em linha reta numa direção aleatória longo do tempo. O objetivo do jogador, igualmente ao jogo base, é movimentar as raquetes ao redor em tempo hábil de impedir que a esfera caia da plataforma (Figura 16). O jogo é modelado em um ambiente 3D com vista em perspectiva superior e o jogador utiliza de dois graus de liberdade para executar o jogo.

Figura 16: Jogo *Double Pong* inspirado no *The Shipwreck*. Fonte: Pasqual, Caurin e Siqueira (2016).

Esse jogo é equivalente ao clássico Paredão (*Pong*, Figura 17) porém, além das duas raquetes se deslocando na vertical no clássico, existem outras duas extras se deslocando na horizontal, recebendo então o nome de *Double Pong*.

Figura 17: Clássico jogo *Pong* desenvolvido pela Atari⁶. Fonte: Pong Museum

O este conceito de jogo utilizar-se dos dois graus de liberdade que o AnkleBot possui, sendo os movimentos de eversão e inversão para controlar as raquetes que se deslocam na horizontal (de cima e de baixo) e os movimentos de dorsiflexão e flexão plantar controlando as raquetes que se deslocam na vertical (das laterais). Este foi o jogo escolhido para as próximas etapas pela abrangência dos movimentos que seus dois graus de liberdade oferecem.

5.2.2 Estudo do Movimento

Pensando na melhor experiência de jogo para o usuário, utilizando o AnkleBot, Pasqual, Caurin e Siqueira (2016) realizaram a análise do movimento do tornozelo para verificar qual o movimento que pode-se esperar do indivíduo. Para isso foi registrado o movimento do tornozelo de um indivíduo isento de deficiências no movimento, girando em torno dos limites de flexão (flexão plantar, dorsiflexão, inversão e eversão). É possível descrever esse movimento num espaço de duas dimensões, que é chamado de Espaço do Movimento (EM), registrando esse movimento é obtido os dados mostrados na Figura 18a.

Observou-se nos dados obtidos que a forma geométrica mais simples que se assemelha com os limites de movimento do tornozelo é uma elipse, excêntrica em relação a origem, ilustrado na Figura 18b. Porém, o formato do espaço de trabalho do jogo possui formato quadrangular e com isso surge um problema em como esse EM pode ser utilizado. Caso a elipse seja ajustada de forma a caber dentro do espaço de trabalho quadrático,

Figura 18: Envelope de trabalho do tornozelo de um indivíduo isento de deficiências no movimento. Fonte: Pasqual, Caurin e Siqueira (2016).

uma região passa a ser inutilizada (Figura 19a) e caso seja ajustada para o espaço do jogo caber dentro do EM, parte do movimento se torna inutilizado (Figura 19b).

Figura 19: Problemas originados do movimento elíptico do tornozelo. Fonte: Próprio autor.

5.2.3 Transformação de Espaço de Movimento

O estudo de Pasqual, Caurin e Siqueira (2016), mostrou que é possível adaptar esse movimento para outros espaço de trabalho, como um espaço quadrado, utilizando-se da equação paramétrica da elipse (Equação 5.1).

$${}_e\vec{P} = \begin{cases} {}_ex_b = h + a_b \cos \alpha \\ {}_ey_b = k + b_b \sin \alpha \end{cases} \quad (5.1)$$

As variáveis h , k , a_b e b_b (Figura 18b) são definidas pelos limites de movimento do indivíduo, os índices e são relativos ao espaço elíptico e b indicam que são os valores das

bordas ou limítrofes. É definido uma posição genérica do tornozelo do indivíduo conforme a Equação 5.2.

$${}_e\vec{P}_i = \begin{cases} {}_ex_i = h + a_i \cos \alpha_i \\ {}_ey_i = k + b_i \sin \alpha_i \end{cases} \quad (5.2)$$

A posição ${}_e\vec{P}_i$, dentro desse espaço elíptico, estará contida na borda de uma elipse proporcional a da Equação 5.1, mantendo a proporção entre as bases da elipse, conforme mostrado na Equação 5.3 e mantendo-a concêntrica, ou seja, com o mesmos valores de h e k , por esse motivo essas variáveis não recebem índices.

$$\frac{a_i}{b_i} = \frac{a_b}{b_b} \quad (5.3)$$

Ao estabelecer esta relação proporcional, pode-se afirmar que a_b e b_b definem um único parâmetro de distância e α um parâmetro angular para determinar uma posição na borda da elipse base. Para utilizar essas informações em um novo espaço de trabalho, este deve ser definido de forma análoga por dois parâmetros (um angular e um linear). Desta forma é possível definir uma equação de um quadrado de lado tamanho $2r_b$ parametrizada da seguinte maneira:

$${}_s\vec{P} = \begin{cases} {}_sx_b = \begin{cases} r_b & , 0 \leq \beta < \frac{\pi}{4} \\ r_b \cot \beta & , \frac{\pi}{4} \leq \beta < \frac{3\pi}{4} \\ -r_b & , \frac{3\pi}{4} \leq \beta < \frac{5\pi}{4} \\ -r_b \cot \beta & , \frac{5\pi}{4} \leq \beta < \frac{7\pi}{4} \end{cases} \\ {}_sy_b = \begin{cases} r_b & , \frac{7\pi}{4} \leq \beta < 2\pi \\ r_b \tan \beta & , 0 \leq \beta < \frac{\pi}{4} \\ r_b & , \frac{\pi}{4} \leq \beta < \frac{3\pi}{4} \\ -r_b \tan \beta & , \frac{3\pi}{4} \leq \beta < \frac{5\pi}{4} \\ -r_b & , \frac{5\pi}{4} \leq \beta < \frac{7\pi}{4} \\ r_b \tan \beta & , \frac{7\pi}{4} \leq \beta < 2\pi \end{cases} \end{cases} \quad (5.4)$$

Os índices s são relativos ao espaço quadrático (*square*), b relativos a base e podem ser substituídos por i e θ por θ_i para descrever uma posição genérica dentro do quadrado.

Ambas as equações parametrizadas (Equação 5.1 e 5.4) descrevem uma forma completa com suas respectivas variáveis paramétricas α e β variando de 0 a 2π , assim é possível igualar as variáveis paramétricas $\alpha = \beta$ e será utilizado apenas α .

Para encontrar o valor de α_i dado um ponto medido qualquer $({}_ex_i, {}_ey_i)$, a variável α_i será isolada na Equação 5.2 e a_i/b_i substituído conforme a Equação 5.3, obtendo assim:

$$\alpha_i = \arctan \left(\frac{a_b {}_ey_i - k}{b_b {}_ex_i - h} \right) \quad (5.5)$$

Observação: No momento da implementação é importante utilizar a função **ATAN2**, encontrada na maioria dos pacotes de programação, que entra com dois parâmetros (numerador e denominador) retornando o arco tangente mesmo para ângulos de 90 deg e 270 deg.

Através do valor de α_i é possível obter os valores de a_i e b_i pela Equação 5.2. Da mesma forma que assumimos a variável paramétrica de ângulo das duas equações (5.1 e 5.4) equivalentes, é possível assumir que a variável linear também será. Portanto, para descrever o valor de r_i da coordenada quadrática relativo ao r_b da borda do quadrado, será utilizado a proporção entre as elipses.

$$\frac{a_i}{a_b} = \frac{b_i}{b_b} = \frac{r_i}{r_b} \quad (5.6)$$

Obtendo α_i da Equação 5.5 para a coordenada no espaço elíptico $({}_ex_i, {}_ey_i)$ e substituindo na Equação 5.6, todos os parâmetros para definir a coordenada no espaço quadrático $({}_sx_i, {}_sy_i)$ são obtidos. Aplicando aos pontos aquisitados (Figura 18) obtêm-se o equivalente no espaço quadrático conforme a Figura 20.

Figura 20: Envelope de trabalho do tornozelo da Figura 18 ajustado ao espaço quadrático (espaço de trabalho do jogo). Fonte: Próprio autor.

O objetivo dessa transformação é obter um maior aproveitamento do movimento do tornozelo independente, inclusive das amplitudes que cada indivíduo movimenta, uma

vez que o jogo pode se calibrar conforme os extremos de movimento automaticamente sempre que o paciente atinja uma amplitude maior do que uma anterior, conforme será mostrado na subseção 5.2.4.

5.2.4 Calibração em Tempo de Execução

Uma vez que o objetivo deste projeto é um jogo para reabilitação, apenas utilizar a transformação apresentada na subseção 5.2.3 não é o suficiente para aproveitar o máximo do movimento se essa função não puder se ajustar automaticamente para os novas amplitudes de movimentos que o paciente alcançar durante o processo reabilitativo.

O primeiro método de calibração apresentado por Pasqual et al. (2016a) utiliza-se dos máximos atingidos em cada eixo para determinar os parâmetros da elipse conforme mostrado na Equação 5.7.

$$\begin{aligned} a_b &= (x_{max} - x_{min})/2 \\ b_b &= (y_{max} - y_{min})/2 \\ h &= (x_{max} + x_{min})/2 \\ k &= (y_{max} + y_{min})/2 \end{aligned} \tag{5.7}$$

Onde x_{max} e y_{max} são os máximos valores atingidos em x e y , respectivamente, e x_{min} e y_{min} os mínimos, respectivamente. Desta forma, é possível calibrar o movimento do espaço em tempo de execução verificando para cada nova posição se existe um novo máximo ou mínimo atingido e substituindo conforme mostrado na Equação 5.8.

$$\begin{aligned} \text{if } x_{max} < e x_i, \text{ then } x_{max} &= e x_i \\ \text{if } x_{min} > e x_i, \text{ then } x_{min} &= e x_i \\ \text{if } y_{max} < e y_i, \text{ then } y_{max} &= e y_i \\ \text{if } y_{min} > e y_i, \text{ then } y_{min} &= e y_i \end{aligned} \tag{5.8}$$

Então a calibração é realizada automaticamente sempre que o indivíduo atinge uma nova amplitude maior que a máxima ou menor que a mínima anteriores. Segundo Pasqual et al. (2016a), esse método é de fácil implementação e suficientemente eficaz, porém ele fica restrito apenas aos extremos em cada eixo (região hachurada da Figura 21a), não levando em conta um novo movimento extremo composto (região em branco da Figura 21a), exceto quando o movimento composto entra na região de calibração, como ilustrado na Figura 21b.

No intuito de aprimorar o sistema de calibração foi desenvolvido um novo sistema de calibração (PASQUAL et al., 2016b), porém este método precisa ser submetido por mais testes e por isso não foi utilizada nos primeiros testes. O método está detalhado no Apêndice E.

Figura 21: Método de calibração anteriormente proposto. Fonte: Próprio autor.

O ajuste em tempo de execução permite que, uma vez que o indivíduo com restrição de movimento atinge um certo movimento além daqueles já realizados, o algoritmo se ajusta automaticamente, fazendo com que esse novo movimento defina um novo EM, utilizando-se assim o movimento máximo do indivíduo para os desafios propostos pela reabilitação.

É importante notar que o indivíduo tem *feedback* visual dos movimentos do seu tornozelo através da interface com o jogo, então uma pré-calibração do *Range of Movement* (ROM) é importante antes do primeiro controle realizado no jogo, no intuito de dar ao indivíduo uma correta primeira impressão do seu controle sobre o jogo. Após isso a calibração atuará para cada nova conquista do ROM que haverá pouco impacto na percepção do jogador.

Trabalhos futuros podem vir a incluir: *i*) adição de testes com pacientes lesionados ou com limitação de movimento; *ii*) prover ferramentas de plano de treino para o fisioterapeuta aplicar a cada paciente; *iii*) caracterizar o movimento da articulação além da amplitude, tal como força e rigidez passiva.

5.2.5 Controle de Força

O mecanismo de reabilitação é a interface física do paciente com o jogo e possui duas funcionalidades principais:

1. Dar assistência ao movimento do paciente como forma de estímulo.
2. Impor resistência ao movimento do paciente como forma de exercício.

Como são funções antagônicas, elas não podem atuar concomitantemente, porém é possível ambas partirem do mesmo princípio.

No contexto de controle de força Krebs et al. (2003) sugere uma espécie de "caixa movel" (*Move Box*) rectangular que restringia o movimento do indivíduo, sendo nula no interior do retângulo e proporcional e contrária ao quão fora da limitação a posição está. A função *Move Box* é descrita pela Equação 5.9.

$${}_s\vec{F} = \begin{cases} {}_sf_x = -D({}_sv_x) + \begin{cases} -K({}_sx - l) & ,{}_sx < l \\ 0 & ,l \leq {}_sx \leq r \\ -K({}_sx - r) & ,{}_sx > r \end{cases} \\ {}_sf_y = -D({}_sv_y) - \begin{cases} -K({}_sy - t) & ,{}_sy < t \\ 0 & ,b_t \leq {}_sy \leq b \\ -K({}_sy - b) & ,{}_sy > b \end{cases} \end{cases} \quad (5.9)$$

Onde K é a rigidez, D é o amortecimento e r, l, t e b representam as bordas do retângulo para direito, esquerdo, superior e inferior, respectivamente. A função *Move Box* é ilustrada na Figura 22.

Figura 22: Representação visual da função *Move Box*. A linha pontilhada representa as bordas do retângulo e as setas representam direção das forças fora da elipse. Fonte: Próprio Autor.

O controle de posição pode ser realizado manipulando as dimensões e posição do retângulo, centralizando e escalando conforme desejado. Mas existe uma questão nessa função que afeta a experiência do usuário: forças não apontam para o entro do espaço, elas agem perpendicularmente às arestas, não informando intuitivamente ao indivíduo qual movimento realizar até ser atingido o canto da função, como ilustra a Figura 23.

A resistência para o movimento do indivíduo pode também ser realizado utilizando o *Move Box*, basta fixar a posição do *Move Box* e manter o objetivo fora dos limites

Figura 23: Função *Move Box* movendo a posição do jogador de duas diferentes origens até o mesmo objetivo. Neste caso o movimento é realizado escalando o retângulo. Fonte: Próprio Autor.

do retângulo. Porém também existe uma questão: os cantos do retângulo causam uma sensação de descontinuidade (Figura 24).

Figura 24: Função *Move Box* trabalhando como resistência, contra o movimento do indivíduo, de duas origens diferentes. Neste caso a posição e escala do *Move Box* se mantém fixos, então a imagem é representada por campo de forças. Fonte: Próprio Autor.

Pasqual, Caurin e Siqueira (2016), utilizou-se desse conceito de controle de força para gerar uma função equivalente de assistência-resistência considerando o comportamento elíptico dos extremos de movimento mostrado na subseção 5.2.2. Para tal finalidade,

utilizou-se da função da elipse em coordenadas polares (Equação 5.10).

$$r_f = \frac{a_f b_f}{\sqrt{a_f^2 \sin^2 \theta + b_f^2 \cos^2 \theta}} \quad (5.10)$$

Onde a_f e b_f são os parâmetros da elipse de controle de força, que será chamada de Elipse Móvel e os índices f são relativos a força. É possível obter o valor de θ_i da posição do tornozelo do indivíduo no EM em coordenadas polares ($\vec{P}_i = \{r_i, \theta_i\}$) com origem no centro da Elipse Móvel e calcular o r_f utilizando-se da Equação 5.10, utilizando $\theta = \theta_i$, que será a posição do tornozelo do paciente projetada na borda da elipse definida por a_f e b_f . Esse vetor é descrito em coordenadas cartesianas na Equação 5.11.

$$\vec{P}_f = \begin{cases} {}_e x_f = r_f \cos \theta_i \\ {}_e y_f = r_f \sin \theta_i \end{cases} \quad (5.11)$$

A posição $\vec{P}_i$ estará contida na elipse se $|{}_e \vec{P}_i| < |{}_e \vec{P}_f|$. Sendo ${}_e \vec{V}_i$ a velocidade do jogador no EM, D e K os parâmetros de amortecimento e rigidez, respectivamente, é possível descrever a função da força de assistência-resistência ${}_e \vec{F}_i$ pela Função 5.12, que está ilustrada na Figura 25.

$${}_e \vec{F}_i = -D({}_e \vec{V}_i) + \begin{cases} -K({}_e \vec{P}_i - {}_e \vec{P}_f) & , |{}_e \vec{P}_i| > |{}_e \vec{P}_f| \\ \vec{0} & , |{}_e \vec{P}_i| \leq |{}_e \vec{P}_f| \end{cases} \quad (5.12)$$

Figura 25: Representação visual da função Elipse Móvel. A linha pontilhada representa as bordas da elipse e as setas representam a direção das forças fora da elipse. Fonte: Próprio Autor.

Analogamente ao *Move Box*, o controle de posição para dar assistência ao indivíduo pode ser realizado através da manipulação da dimensões e posição da elipse nesta função. A Figura 26 mostra o uso da Elipse Móvel com os mesmos objetivos da Figura 23.

Figura 26: Função Elipse Móvel movendo a posição do jogador de duas diferentes origens até o mesmo objetivo. Neste caso o movimento é realizado escalando a elipse. Fonte: Próprio Autor.

Similarmente é possível utilizar a função da Elipse Móvel como resistência colocando o objetivo fora dos limites da elipse. A Figura 27 mostra o uso da função Elipse Móvel com as mesmas origens e destinos da Figura 24.

Figura 27: Função Elipse Móvel trabalhando como resistência, contra o movimento do indivíduo, de duas origens diferentes. Neste caso a posição e escala da Elipse Móvel se mantém fixos, então a imagem é representada por campo de forças. Fonte: Próprio Autor.

Desta forma obtêm-se uma função de assistência/resistência suavizada e condizente com o movimento natural do tornozelo. Foram realizado estudos da cinemática do movimento de indivíduos saudáveis para identificar o padrão de movimento e assim definir a melhor forma de atuação das forças de assistência.

5.2.6 Resultados Parciais

Os testes mostrados aqui foram realizados com indivíduos saudáveis, com o tornozelo direito em três estágios:

1. Jogo livre - sem restrição ou auxílio para o movimento. Este teste checka o uso do alcance do movimento ou ROM.
2. Jogo assistido - com auxílio de movimento e sem restrição. Este teste checka o comportamento das forças atuando como assistência.
3. Jogo resistido - com restrição de movimento e sem auxílio. Este teste checka o comportamento das forças atuando como resistência.

Todos os dados mostrados são aquisitados a cada $20ms$ ($50Hz$). Por segurança, as forças são limitadas a um máximo de $5N.m$ em ambos os eixos de movimentos (inversão / eversão e flexão plantar / dorsiflexão).

Testes com indivíduos saudáveis tiveram aprovação de um comitê de ética ¹ e os indivíduos testados consentiram a utilização e exposição dos dados, preservando sempre a identidade do indivíduo.

5.2.6.1 Jogo Livre

Teste teste não impõe nenhuma atuação de força, então o indivíduo move seu tornozelo livremente. A Figura 28 mostra os movimentos utilizando tanto os dados puros de movimento ajustado para conter o espaço de trabalho quadrático, conforme a Figura 19, quanto os dados transformados para o espaço elíptico conforme apresentado na subseção 5.2.3.

A amplitude de movimento ao longo da inversão / eversão é $0.55\ rad$ ($31.7\ deg$) para a utilização dos dados puros, contra $0.68\ rad$ ($39.1\ deg$) para o movimento convertido para o espaço elíptico. Ao longo dos movimentos plantar flexão / dorsiflexão, a amplitude foi de $0.58\ rad$ ($33.0\ deg$) para a utilização dos dados puros, contra $0.92\ rad$ ($52.9\ deg$) para o movimento convertido para o espaço elíptico.

Como esperado, o uso dos dados convertido para o espaço elíptico permite uma melhor utilização do ROM do indivíduo. Utilizando os dados puro, o indivíduo alcançou apenas 80% do movimento de inversão / eversão alcançado pelo espaço elíptico e 63% da flexão plantar / dorsiflexão.

¹ Certificado de Apresentação para Apreciação Ética: 26054813.1.0000.5504 - Para participação de indivíduos saudáveis pertencentes ao corpo universitário do campus São Carlos da USP

(a) Movimentos realizados com dados puros. (b) Movimentos realizados com a transformação.

Figura 28: Movimentos realizados pelo indivíduo durante o Jogo Livre sem atuação de forças. Fonte: Próprio autor.

5.2.6.2 Jogo Assistido

Este teste impõe forças para ajudar o movimento do indivíduo no intuito de alcançar os objetivos do jogo. A Figura 29 mostra os vetores de força distribuídos ao longo dos movimentos de inversão / eversão no eixo horizontal e flexão plantar / dorsiflexão ao longo do eixo vertical.

(a) Move Box.

(b) Elipse Móvel.

Figura 29: Forças realizadas para ajudar o indivíduo durante o Jogo Assistido, com forças de auxílio. Fonte: Próprio autor.

Os resultados mostram as forças realizadas pelo *Move Box* concentradas próximo dos eixos verticais e horizontais, enquanto os objetivos são dispersos aleatoriamente ao longo do espaço de trabalho. Este comportamento faz com que a assistência não proporcione um movimento intuitivo, enquanto a *Elipse Móvel* tem as forças mais distribuídas e mais certamente apontando para o objetivo devido a sua formulação.

5.2.6.3 Jogo Resistido

Este teste impões forças contra o movimento do indivíduo no intuito de dificultar em atingir os objetivos do jogo. A Figura 30 mostra os vetores de força distribuídos ao longo dos movimentos de inversão / eversão no eixo horizontal e flexão plantar / dorsiflexão ao longo do eixo vertical.

Figura 30: Forças realizadas para dificultar para o indivíduo durante o Jogo Resistido, com forças de resistência. Fonte: Próprio autor.

Similar ao teste anterior, os resultados mostram as forças realizadas pelo *Move Box* concentradas próximo dos eixos verticais e horizontais, enquanto os objetivos são dispersos aleatoriamente ao longo do espaço de trabalho. Este comportamento causa a sensação de descontinuidade, como se tivesse uma quina, enquanto a *Elipse Móvel* tem as forças mais distribuídas dando uma sensação suavizada.

5.2.7 Primeiras Conclusões

Testes com usuários saudáveis mostraram que é possível, através dessa abordagem matemática, adequar a movimentação do jogo ao movimentação de tornozelo, aproveitando melhor o EM do jogador bem como a suavizar a assistência, tornando a movimentação mais intuitiva.

O ajuste do espaço em tempo de execução permite que uma vez que o paciente com limitações no movimento atinja certo deslocamento, o jogo se ajusta, tornando essa nova amplitude no novo limite do EM, fazendo com que o jogo estimule o exercício desse novo ganho.

Para trabalhos futuros, além de teste em pacientes com lesões ou limitações de movimento, esse jogo também dá abertura para um modo multi-jogador (ANDRADE et al., 2012; ANDRADE et al., 2014) e tele-reabilitação (PIRES et al., 2015; CONSONI et al., 2016), tanto cooperativo, como competitivo (com o terapeuta definindo os objetivos). Bem como oferecer uma ferramenta para desenvolver planos de treino para cada paciente bem como a caracterização dos movimentos da articulação como amplitudes, força ou rigidez passiva.

5.3 Exame Cognitivo de Addenbrooke - Revisado

O Exame Cognitivo de Addenbrooke (*Addenbrooke's Cognitive Examination (ACE)*) foi desenvolvido por pesquisadores da Unidade de Neurologia Cognitiva da Universidade de Cambridge, no Reino Unido, em 2000 e surgiu da demanda de um teste rápido, de baixo custo e com sensibilidade aos estágios iniciais de demência. O exame passou por uma revisão em 2006 (MIOSHI et al., 2006), sendo então chamado de Exame Cognitivo de Adenbrook Rvisado (ACE-R) e logo em seguida sua adaptação brasileira (CARVALHO; CARAMELLI, 2007), apresentado no Apêndice C.

O ACE-R conta com uma bateria de exames a fim de avaliar seis domínios cognitivos, cada qual com sua pontuação, totalizando em 100 pontos. Esse exame ainda engloba o MEEM, ou seja, desses 100 pontos, 30 são pontuações do MEEM. Os cinco domínios cognitivos ainda são divididos em sub-níveis, também com suas pontuações, que estão listados abaixo:

- Orientação e Atenção (18 pontos):
 - Orientação (10 pontos);
 - Registro (3 pontos);
 - Atenção e Concentração (5 pontos).
- Memória (26 pontos):
 - Recordação e Reconhecimento (15 pontos);
 - Memória anterógrada (7 pontos);
 - Memória retrógrada (4 pontos).
- Fluência verbal (14 pontos):

- Letras (7 pontos);
- Animais (7 pontos).
- Linguagem (26 pontos):
 - Compreensão (5 pontos);
 - Leitura (4 pontos);
 - Escrita (1 ponto);
 - Repetição (4 pontos);
 - Nomeação (12 pontos).
- Viso-Espacial (16 pontos):
 - Habilidades visuais-espaciais (8 pontos);
 - Habilidades de percepção (8 pontos).

O exame serviu como direcionamento para definir a mecânica do jogo, que englobou alguns sub-níveis possíveis, dentre os domínios cognitivos, para realizar a correlação entre a pontuação do jogo com os pontos do ACE-R.

Por exemplo, para a memória anterógrada a pessoa recebe um nome e um endereço e a pessoa precisa repetir algumas vezes para mostrar que consegue memorizar. Para o teste de habilidades perceptivas o paciente deve identificar objetos conhecidos, tal como letras, porém defectivas (Figura 31a). Em outra etapa o indivíduo deve contar quantos pontos há em imagens sem apontá-las (Figura 31b). Compreensão também pode ser analisado através de como o jogador desempenha as atividades do jogo em função das instruções passadas no início do jogo.

(a) Identificar a letra.

(b) Contar os pontos.

Figura 31: Teste de percepção da habilidades perceptivas. Fonte: Teste ACE-R.

5.4 Distribuição de Esforços e Movimentos

Como citado no Capítulo 1, uma das consequências do AVC é a hipotonia, ou seja, tônus muito baixo, que representa baixa resistência ao movimento passivo, como se o coeficiente de rigidez do tornozelo diminuísse e consequentemente deixa o indivíduo com dificuldades de posicionar o membro atingido, principalmente nas primeiras semanas. Como consequência disso nos músculos dorsiflexores dificultam a sustentação do pé durante a caminhada, esse fenômeno é conhecido como "pé caído" tratando-se de um problema que limita o caminhar, por dificultar o apoio com o calcanhar e arrastar os dedos do pé durante a fase de balanço, resultando em instabilidade e quedas (KNARR et al., 2013).

Existem diversos conceitos de AFO, a Figura 32 ilustra um conceito em que a órtese envolve o pé pela parte anterior e inferior, dessa forma restringindo bastante o movimento de plantar flexão, razoavelmente os movimentos de inversão e eversão e deixando livre para o movimento de dorsiflexão.

Figura 32: Órteses de Tornozelo-Pé da Knit-Rite Direct. Fonte: Site da Knit-Rite

Baseado nos movimento que a órtese tenta compensar, é possível definir as prioridades de movimento e esforços na reabilitação, que estão representados na Figura 33. Vale destacar a diferença de movimento e esforço aqui, pois nas fases iniciais da hipotonia o jogo não deve impor nenhuma resistência ao movimento e, dependendo da dificuldade do

indivíduo realizar o movimento irá até ajudá-lo. Com o andar da recuperação poderá ser imposto a resistência para o fortalecimento do movimento com o esforço do indivíduo.

Figura 33: Divisão de prioridades na reabilitação de movimentos do tornozelo. Fonte: Próprio autor

No intuito de tornar um jogo sem uma repetição automática de atividades é importante oferecer uma certa aleatoriedade ou imprevisibilidade aos desafios impostos ao jogador. Assumindo-se que a função aleatória contínua Equação 5.13 fornece um valor real aleatório com probabilidade uniformemente distribuída no intervalo de $[0, 1)$, ou seja, fornece um valor x_i aleatório entre 0 fechado e 1 aberto com probabilidade igual para qualquer valor real nesse intervalo. Pode-se dizer então que a densidade de probabilidade da Equação 5.13 é definida pela Equação 5.14.

$$Rand_R(0, 1) \in [0, 1) \quad (5.13)$$

$$rand_R(x) = \begin{cases} 1 & , \text{ for } 0 \leq x < 1 \\ 0 & , \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (5.14)$$

Uma forma de transformar essa função contínua uniformemente distribuída em uma função discreta não distribuída uniformemente com N elementos, sendo que a probabilidade desejada para cada k elemento é p_k , é através do Algoritmo 1, sendo x um número extraído da Equação 5.13. Este método será chamado Gerador de Número Aleatório Tendencioso (GNAT).

Algoritmo 1: Method GNAT - Gerador de Número Aleatório Tendencioso Discreto baseado em probabilidades desejadas.

```

1 início
2    $x \leftarrow \text{Rand}_R(0, 1)$ 
3    $k \leftarrow 1$ 
4    $P \leftarrow p_1$ 
5   enquanto  $x > P$  faça
6      $k \leftarrow k + 1$ 
7      $P \leftarrow P + p_k$ 
8   fim
9   retorna  $k$ 
10 fim

```

A densidade de probabilidade deste algoritmo pode ser ilustrada pela Figura 34. Através da manipulação de p_k é possível determinar qual é a probabilidade que um elemento k pode ocorrer aleatoriamente.

Figura 34: Ilustração da densidade de probabilidade do método GNAT. Fonte: Próprio autor.

Porém, este método não garante que a frequência de ocorrência dos elementos desejada ocorra ou pode demandar muitas iterações até atingir a frequência esperada. Se em uma sessão de terapia o jogador precisar realizar 20 movimentos, é possível que a função aleatória forneça 20 vezes o mesmo valor, a probabilidade disso ocorrer é pequena, mas não nula.

Pensando nessa necessidade, pode-se partir para dois caminhos:

1. Escolher o elemento que está mais distante, para menos, da frequência esperada, no intuito de aumentar a frequência.
2. Descartar os elementos que estejam acima da frequência esperada, no intuito de não aumentar ainda mais.

Agora, assumindo-se uma função aleatória discreta (Equação 5.15) que fornece um valor inteiro aleatório k com probabilidade igualmente distribuída entre os inteiros no intervalo de 1 a N com probabilidade $p_k = 1/N$, para qualquer k .

$$Rand_I(i) \in U_N = \{1, 2, \dots, k, \dots, N\}, \quad / \quad N \in \mathbb{N} \quad (5.15)$$

Será definido como $f_k(i)$ a frequência do elemento k relativos a i -ésima iteração, que é definida pelo número de ocorrência de k sobre o número total de iteração i , até um total de I iterações, resultando numa sequência S_I .

Seguindo o primeiro dos caminho citado anteriormente, pode-se descrever o Algoritmo 2 que procura o elemento que está mais distante, para menos, da frequência esperada e, em caso de empate, escolhe um aleatoriamente. Este método será chamado de Escolhe Frequência Relativa Mínima (EFRM)

Algoritmo 2: Método EFRM - Gerador de número inteiro aleatório com frequência forçada. Fonte: Próprio Autor.

```

1  início
2       $min \leftarrow \infty$ 
3      para  $k = 1$  até  $N$  faça
4           $current \leftarrow f_k - p_k$ 
5          se  $current < min$  então
6               $min \leftarrow current$ 
7               $counter \leftarrow 1$ 
8               $elements[1] \leftarrow k$ 
9          senão
10             se  $current = min$  então
11                  $counter \leftarrow counter + 1$ 
12                  $elements[counter] \leftarrow k$ 
13             fim
14         fim
15     fim
16      $rand \leftarrow Rand_I(1, counter)$ 
17     retorna  $elements[rand]$ 
18 fim
```

Note que o sorteio ocorre apenas entre os elementos que possuam a menor diferença entre a frequência f_k e a probabilidade p_k , ou seja, menos ocorrência do que era provável ocorrer. É possível afirmar que as frequências tendem a convergir, pois o algoritmo está favorecendo sempre os elementos de menor frequência em relação a probabilidade, porém o algoritmo se torna um pouco previsível, por exemplo no início, com toda $f_k = 0$, se houver um p_k maior que os demais, o algoritmo sempre fornecerá ele na primeira iteração.

Seguindo então para o segundo dos caminho citado anteriormente, pode-se descrever Algoritmo 3 que procura os elemento que estão abaixo da frequência esperada e escolhe

um aleatoriamente. Este método será chamado de Escolhe Frequência Relativa Negativa (EFRN).

Algoritmo 3: Método EFRN - Gerador de número inteiro aleatório com frequência forçada. Fonte: Próprio Autor.

```

1 início
2    $counter \leftarrow 1$ 
3    $elements[counter] \leftarrow 1$ 
4   para  $k = 1$  até  $N$  faça
5      $current \leftarrow f_k - p_k$ 
6     se  $current \leq 0$  então
7        $elements[counter] \leftarrow k$ 
8        $counter \leftarrow counter + 1$ 
9     fim
10  fim
11   $rand \leftarrow Rand_I(1, counter)$ 
12  retorna  $elements[rand]$ 
13 fim

```

Note que o sorteio ocorre apenas entre os elementos que estão abaixo da frequência f_k , ou seja, menos ocorrência do que era provável ocorrer. É possível afirmar que as probabilidades tendem a convergir pois o algoritmo está favorecendo sempre os elementos que estão mais longe a frequência esperada. Este algoritmo tem uma vantagem em relação ao anterior pois, por exemplo, no início, com toda $f_k = 0$, ele sempre fornecerá um elemento aleatório dentre todos. Esta função só será previsível após todos os elementos, exceto um, estiverem acima da probabilidade esperada.

Para definir um critério de convergência $E(i)$ independente do valor N , será utilizada o erro absoluto médio dentre todos os elementos, conforme mostra a Equação 5.16.

$$E(i) = \sum_{k=1}^N \frac{|f_k(i) - p_k(i)|}{N} \quad (5.16)$$

Se utilizar o critério de convergência apenas para um instante de iteração, é possível obter um caso singular em que as frequências são exatamente as probabilidades ou muito próximo, algo que pode não se manter ao longo das iterações. Então, para assegurar que não isso não aconteça, será utilizado o E médio da I iterações.

$$\bar{E} = \sum_{i=1}^I \frac{E(i)}{I} \quad (5.17)$$

Desta forma, outro critério será avaliado, a aleatoriedade da sequência S_I . Baseado no conceito de normalidade numérica², utilizada para determinar a pseudo-aleatoriedade

² Um número real cuja sequência infinita de dígitos em qualquer base numérica positiva b é

de um número normal (MAUDUIT; SÁRKÖZY, 1997), será proposto um método que analisa se a frequência de ocorrência dos arranjos possíveis dos elementos do conjunto U_N está compatível com suas probabilidades.

Para um U_6 , por exemplo, $(1, 1)$, $(5, 6)$ ou $(2, 2)$ são 3 arranjos dos 36 elementos de $U_{6,2}$ formados por 2 elementos, $(1, 2, 2)$, $(5, 2, 4)$ ou $(6, 6, 6)$ são 3 arranjos dos 216 elementos de $U_{6,3}$ formados por 3 elementos e assim sucessivamente. Assim, um conjunto $U_{N,M}$ de arranjos possíveis formados com M elementos de U_N tem N^M elementos.

Um elemento $K_n \in U_{N,M} / 1 \leq n \leq N^M$ é representados por $(k_1, k_2, \dots, k_m) \forall k_m \in U_N / 1 \leq m \leq M$ e suas frequências pela Equação 5.18. São definidas as frequências f_{K_n} como o número de ocorrências do elemento K_n relativo aos possíveis arranjos na sequências S_I .

$$p_{K_n} = \prod_{m=1}^M p_{k_m} \quad (5.18)$$

Analogamente ao conjunto U_N , podemos aplicar a Equação 5.16 e 5.17, para diversos valores de M .

$$E(M) = \sum_{n=1}^{N^M} \frac{|f_{K_n} - p_{K_n}|}{N^M} \quad (5.19)$$

O objetivo é verificar qual é a frequência de ocorrência dos arranjos em relação a sua probabilidade para uma sequência aleatória extraída de cada um métodos propostos.

A sequência aleatórias S_I é limitada em I elementos, logo só faz sentido analisarmos até $M \leq I$. Porém, para $M = I$, a S_I só teria 1 arranjo de $U_{N,M}$, 2 arranjos para $M = I - 1$ e assim sucessivamente, que não é um conjunto de arranjos interessante a ser analisado.

O número de arranjos possíveis A em S_I é $A = I - (M - 1)$. Um número máximo ideal M_{max} para M é aquele que permite que A seja próximo do número de arranjos possíveis N^M . Como N^M aumenta exponencialmente, podemos assumir que $M_{max} \ll I$, que significa que $A \approx I$, então a Equação 5.20 oferece uma boa aproximação para o valor inteiro M_{max} .

$$M_{max} = \lfloor \log_N I \rfloor \quad (5.20)$$

Da mesma forma que a Equação 5.17 foi elaborada para não analisar uma iteração específica, será extraída a média entre os $E(M)$ para $1 \leq M \leq M_{max}$, formulando então

distribuída uniformemente em sequências no intuito que cada valor dos b dígitos possui a mesma densidade natural $1/b$, bem como todo possível par de dígitos b^2 tem igualmente b^{-2} frequência de acontecimento e assim sucessivamente para b^n

a Equação 5.21. Quanto menor o valor de $P(S_I)$, maior a aleatoriedade, portanto será chamado de índice de previsibilidade.

$$P(S_I) = \sum_{m=1}^{M_{max}} \frac{E(M)}{M_{max}} \quad (5.21)$$

Foram realizados testes "justos" e "injustos" para $N = 2$ (moeda), $N = 4$ (plano de reabilitação) e $N = 6$ (dado) para os 3 métodos propostos com I iterações ($I = 1000$), as probabilidades são mostradas na Tabela 2. A frequência final de cada teste é mostrada na Tabela 3.

Tabela 2: Probabilidades dos testes realizados. Fonte: Próprio autor.

Probab.	$N = 2$	$N = 4$	$N = 6$
Justo	{0.5, 0.5}	{0.25, 0.25, 0.25, 0.25}	{0.167, 0.167, 0.167, 0.167, 0.167, 0.167}
Injusto	{0.7, 0.3}	{0.5, 0.3, 0.1, 0.1}	{0.35, 0.25, 0.15, 0.1, 0.1, 0.05, 0}

Tabela 3: Resultado final das frequências de cada testes. Fonte: Próprio Autor.

Probab.	Método	$N = 2$	$N = 4$	$N = 6$
Justo	GNAT	{0.522, 0.478}	{0.272, 0.267, 0.25, 0.211}	{0.167, 0.174, 0.17, 0.157, 0.174, 0.158}
	EFRM	{0.5, 0.5}	{0.25, 0.25, 0.25, 0.25}	{0.167, 0.167, 0.167, 0.166, 0.167, 0.166}
	EFRN	{0.5, 0.5}	{0.25, 0.25, 0.25, 0.25}	{0.166, 0.166, 0.167, 0.167, 0.167, 0.167}
Injusto	GNAT	{0.716, 0.284}	{0.506, 0.296, 0.1, 0.098}	{0.336, 0.245, 0.146, 0.103, 0.106, 0.064}
	EFRM	{0.7, 0.3}	{0.5, 0.3, 0.1, 0.1}	{0.35, 0.25, 0.15, 0.1, 0.1, 0.05}
	EFRN	{0.7, 0.3}	{0.5, 0.3, 0.1, 0.1}	{0.35, 0.25, 0.15, 0.1, 0.1, 0.05}

Um caso foi escolhido apenas para ilustrar um resultado das 24 frequências obtidas, a Figura 35 mostra o resultado da frequência f_1 para a probabilidade "injusta" (70%) com $N = 2$ para os 3 métodos.

É possível ver que GNAT fica com a frequência próxima de 75% por várias iterações até começar a convergir, por volta da 550ª iteração para a frequência esperada, mesmo assim terminando a 1.6% de distância dela. Enquanto o método 1 não passa de 71% após a 21ª iteração, nem o método 2 passa de 71% após a 14ª iteração, e ambos não decaíram de 69% após a 61ª iteração. A Tabela 4 é obtida aplicando a Equação 5.17 nos resultados.

Figura 35: Frequência f_1 "injusta"(70%) com $N = 2$ para os 3 métodos ao longo das iterações. Fonte: Próprio autor.

Tabela 4: Resultados dos testes para os 3 métodos propostos com I iterações ($I = 1000$). Fonte: Próprio autor.

Probab.	Método	$N = 2$	$N = 4$	$N = 6$
Justo	GNAT	3.156%	2.949%	1.334%
	EFRM	0.204%	0.247%	0.249%
	EFRN	0.204%	0.247%	0.249%
Injusto	GNAT	4.294%	1.141%	2.130%
	EFRM	0.216%	0.225%	0.209%
	EFRN	0.262%	0.267%	0.276%

O método GNAT apresentou os piores resultados em relação aos outros métodos propostos neste critério. Apesar de ambos os métodos obterem um resultado muito bom, o método EFRM mostrou-se melhor nesse critério, porém, como comentado anteriormente, ele acaba tendo uma certa previsibilidade em suas amostragem, por selecionar o elemento aleatório dentro de um conjunto mais restrito.

Para calcular o índice de previsibilidade, a Tabela 5 mostra o valor M_{max} calculado com a Equação 5.20 e $I = 1000$ de acordo com N e seus respectivos números de arranjos.

Tabela 5: M_{max} ideal para alguns valores de N com I iterações. Fonte: Próprio autor.

N	M_{max}	Possíveis arranjos de U_N	Possíveis arranjos de S_I
2	10	1024	991
4	5	1024	996
6	4	1296	997

A Figura 36 ilustra um dos 18 comparativos de $E(M)$ em função de M para o caso

"injusto" com $N = 6R$. Note que os resultados para $M = 1$ são equivalentes a Tabela 4. Também é possível notar que a aleatoriedade de GNAT e do EFRN foram maiores que a do método EFRM.

Figura 36: $E(M)$ em função de M para o caso "injusto" com $N = 6R$. Fonte: Próprio autor.

Calculando os índices de previsibilidade da Equação 5.21 dos testes é obtida a Tabela 6. Nos resultados obtidos é possível observar que GNAT sempre apresenta um bom resultado de previsibilidade ($R(S_I) < 1\%$), o que condiz com o objetivo da função. Porém, uma vez que seu resultado é totalmente aleatório, novos testes podem apresentar resultados melhores ou piores, mas a probabilidade de obter uma boa aleatoriedade é sempre satisfatória.

Tabela 6: Resultados da aleatoriedade dos testes para os 3 métodos propostos. Fonte: Próprio autor.

Previsibilidade	Método	N = 2	N = 4	N = 6
Fair	GNAT	0.689%	0.686%	0.310%
	EFRM	3.442%	0.840%	0.324%
	EFRN	3.662%	0.778%	0.338%
Unfair	GNAT	0.488%	0.192%	0.350%
	EFRM	9.917%	2.179%	1.171%
	EFRN	9.897%	0.712%	0.251%

Ambos os métodos propostos, EFRM e EFRN, não apresentaram pouca previsibilidade para $N = 2$, isso se deve ao fato de que 50% das iterações são previsíveis, por exemplo, a primeira iteração fornece um valor aleatório k , a segunda iteração fornece o

outro elemento do conjunto, a terceira um valor aleatório e assim sucessivamente. O que já não acontece para $N = 4$, por exemplo.

O método EFRM não apresentou boa índice de previsibilidade para os testes "injustos", porém apresentou resultado similar ao método EFRN para os testes "justos", isso se deve ao fato que um teste "justo" é um caso singular do método EFRM em que ele se comporta de forma similar ao método EFRN devido a igualdade entre as probabilidades.

Ambos os métodos, EFRM e EFRN, apresentaram uma melhoria na previsibilidade com o aumento de N , isso se deve ao fato de que, com o aumento de elementos, aumenta-se o número de iterações para convergir para a probabilidade.

Ambos os métodos propostos, EFRM e EFRN, apresentaram resultados satisfatórios na convergência e superiores ao método GNAT. Apenas o método GNAT apresentou desempenho satisfatório para $N = 2$. O método EFRM apresentou desempenho significativo apenas no caso singular em que as probabilidades dentre os elementos são iguais. Já o método EFRN apresentou bom desempenho em todos os demais casos, portanto é uma ótima ferramenta para se utilizar caso seja necessário controlar a frequência de ocorrência das variáveis sem perder a aleatoriedade.

Para trabalhos futuros será realizado testes diversos com a função aleatória. Teste com valores ímpares de N , principalmente $N = 3$ que tenderá a ter uma previsibilidade intermediária entre $N = 2$ e $N = 4$.

5.5 Conceito do Jogo

A utilização de jogos virtuais para reabilitação tem como objetivo tornar a reabilitação um processo menos maçante, uma vez que este envolve muitas horas de atividades repetitivas. Pensando na camada de experiência de jogabilidade "contexto do jogador", o jogo deveria conter uma temática que fosse familiar para o público majoritário de ocorrência do AVC, ou seja, indivíduos de idade mais avançada, em especial acima dos 55 anos (WOLF et al., 1991). Pensando nisso, optou-se por um jogo baseado em cartas de baralho que é um tipo de jogo tradicional na cultura brasileira e ainda presente na cultura contemporânea, sendo um elemento familiar para todas as faixas etárias.

Não se sabe a origem exata dos jogos de carta, sua primeira aparição na história se dá na China, quando dois indivíduos foram presos por praticarem jogos de azar. Muito provavelmente é devido ao fato de jogos de azar serem proibidos na época de sua criação que a história de sua origem tenha se perdido (COPAG, 2018).

Diversas outras culturas adotaram suas próprias versões de cartas, coreana, persa, indiana, etc. O tipo de baralho mais difundido na atualidade, inclusive no Brasil, é o francês que é constituído de 52 cartas (Figura 37), podendo conter eventualmente duas cartas adicionais, o coringa, que não foram utilizadas nesse projeto.

Figura 37: Baralho francês de 52 cartas. Fonte: Site da Glamber Romania (GAMBLER ROMANIA, 2016).

Essa versão de baralho conta com quatro naipes, dois na cor preta, Paus (♣) e Espadas (♠) e dois na cor vermelha, Copas (♥) e Ouro (♦). Cada naipe por sua vez possui treze cartas, sendo nove numéricas, do **2** ao **10**, e quatro alfabéticas, sendo Ás (**A**), Valete (**J**), Dama (**Q**) e Rei (**K**).

O desenho mais comum de carta conta com seu carácter alfanumérico representado do lado esquerdo superior com seu naipe logo abaixo (Figura 38). Isso é repetido simetricamente em relação ao centro da carta para que, independente se a carta estiver de pé ou de cabeça para baixo, a carta sempre os tenha do lado esquerdo superior.

(a) 8♠

(b) A♣

(c) Q♥

Figura 38: Formação mais comum das cartas de baralho. Fonte: Glamber Romania (GAMBLER ROMANIA, 2016).

As cartas numerais possuem no seu interior a quantidade de figuras do seu naipe igual ao seu valor, além dos naipes junto ao número, por exemplo, a carta 8♠ (Figura 38a) possui oito símbolos dispersos no centro da carta.

As cartas Ases (Figura 38b) em muitos jogos possui uma característica especial, pode ser tanto o fim (após o **K**), sendo então a mais valiosa, como início da sequência (antes do **2**), assim possuindo apenas um naipe no seu interior.

As demais cartas alfabéticas recebem no seu interior uma arte especial que representam as classes da corte que deram origem aos seus nomes, cada naipe possui sua própria arte, como a Rainha de Copa na Figura 38c. Essa arte variou conforme a época e hoje varia de fabricante para fabricante.

Todas essas variáveis (letras, números, símbolos, desenhos e quantidades) são úteis na hora de testar o nível de cognição do indivíduo, uma vez que o ACE-R se utiliza também dessas variáveis. A manipulação desses elementos na mecânica do jogo permite criar desafios de concentração, memória, habilidades visuais, nomeação, percepção, entre outras.

Outros elementos podem ser utilizados para incrementar a dificuldade como por exemplo adicionar ou misturar as cores entre os naipes ou rotacioná-los de cabeça pra baixo. Já no sentido de diminuir a dificuldade o jogo pode contar com uma versão simplificada da carta, envolvendo apenas um ou dois dos elementos, e até o formato da carta (Figura 39), conforme a dificuldade do paciente de trabalhar com muitas informações simultaneamente.

Figura 39: Versões simplificadas das cartas. Fonte: Próprio autor.

A ideia inicial foi criar um jogo em que o jogador tenha que associar uma carta correta dentre as que estejam dispersas ao redor (Figura 40), esse conceito teve inspiração no Teste do Relógio Agrell e Dehlin (1998) e possibilita a fácil manipulação do movimento do jogador, podendo assim dar prioridade aos movimentos de interesse (Figura 33). Esse conceito de jogo também permite facilmente aumentar ou diminuir a dificuldade colocando menos (Figura 40a) ou mais cartas dispersas (Figura 40b).

5.6 Desenvolvimento do Jogo

Explorando o conceito do jogo definido na seção 5.5 o primeiro passo foi criar um modelo 3D de carta no Blender. Para tornar a manipulação das informações da carta dinâmicas, uma carta genérica sem frente e verso Figura 41a foi gerada para permitir que as demais informações, tal como valor, naipe e cor, fossem inseridas em tempo de execução do jogo.

(a) Menos cartas.

(b) Mais cartas.

Figura 40: Conceito principal de disposição das cartas no jogo. Fonte: Próprio autor.

(a) Modelo 3D de carta de baralho no Blender.

(b) Desenvolvimento do jogo no Unity.

Figura 41: Plataformas de Design e Desenvolvimento. Fonte: Próprio autor.

Para o fechamento da carta forma utilizados dois planos 3D, um em branco para a parte frontal e outro com a textura do verso da carta. A manipulação das demais informações é realizada via *script* no Unity Figura 41b, os valores e os naipes são caracteres sobrepostos ao modelo 3D da carta. Desta forma não é necessário criar um modelo de carta pra cada valor e naipe do baralho.

Inicialmente três principais classes foram criadas. Uma classe base chamada **Game-Base** foi criada para centralizar informações e configurações do jogo tal como caracteres especiais para os naipes ($\clubsuit$ $\spadesuit$ $\heartsuit$ $\diamondsuit$), valores (A, 2, ..., 10, J, Q, K) e cores (preto e vermelho, inicialmente). Os textos também são centralizados nessa classe, pertencendo a *arrays* de *strings* para facilitar a inserção dos textos em diversos idiomas. As duas outras classes herdadas da classe base chamadas **Dealer** e **Card**. A primeira delas é responsável por manipular as informações, disposição e função da segunda. Foi decidido criar uma classe

Motion separada para a movimentação das cartas pois a mesma poderia ser utilizada para movimentar qualquer elemento do jogo, não só as cartas.

A Figura 42 apresenta o resultado da interface do jogo baseado no conceito apresentado na Figura 40. Essa é a interface visual direta com o jogador. A mecânica do jogo funciona da seguinte forma: uma carta objetivo é apresentada no centro e N cartas desafios são apresentadas ao redor. Uma das cartas desafios corresponde exatamente à carta objetivo, sendo essa a escolha correta e as demais escolhas incorretas. Após o resultado da escolha ser exibida, o indivíduo deve retornar o cursor ao centro da tela para iniciar um novo turno. A escolha é realizada através do cursor controlado pelo jogador, a classe **ControlManager** é responsável por esse gerenciamento, e a pontuação é baseada no acerto de cada critério (valor, naipe e cor) e no tempo de escolha, registrada pela classe **Choice**.

Figura 42: Interface do jogo com o jogador e seus elementos. Fonte: Próprio autor.

Uma vez que o jogador realiza sua escolha, um *feedback* visual e sonoro indica o resultado da sua escolha, em caso de uma escolha correta a carta escolhida e objetivo recebem um destaque em verde, um efeito sonoro positivo é reproduzido e as demais cartas são ocultadas (Figura 43a). Em caso de uma escolha incorreta a carta escolhida recebe um destaque em vermelho e um efeito sonoro negativo é reproduzido, em seguida a carta correta e objetivo recebem destaque em verde e as demais cartas são ocultadas (Figura 43b).

Espera-se que o desempenho na identificação dos números e desenho neste primeiro modo apresentado tenha uma maior correlação com as habilidades perceptivas do indivíduo, reconhecimento, visual-espacial e compreensão. É possível ainda manipular a dificuldade

(a) Decisão correta.

(b) Decisão incorreta.

Figura 43: *Feedback* visual da decisão do jogador. Fonte: Próprio autor.

alterando o número de cartas, facilitando com menos carta (Figura 44a) ou dificultando com mais cartas (Figura 44b).

(a) Modo Básico - Menos cartas.

(b) Modo Básico - Mais cartas.

(c) Modo Memória - Memorize a carta.

(d) Modo Memória - Lembre da carta.

(e) Modo MultiNaipes - Mais elementos visuais.

(f) Modo ContaNaipes - Conte o número de naipes.

Figura 44: Diversidade de modos de jogo. Fonte: Próprio autor.

É interessante também a correlação com a capacidade de memória do indivíduo, dessa forma foi desenvolvido um modo adicional de jogo em que, ao invés de todas as

cartas serem apresentadas simultaneamente, a carta objetivo é apresentada inicialmente (Figura 44c) e o jogador é instruído a memorizar. Em seguida a carta objetivo é ocultada e as cartas desafios são apresentadas (Figura 44d). Espera-se que esse modo tenha uma melhor correlação com o subnível de memória desempenhada pelo indivíduo.

No intuito de explorar o conceito dos testes de habilidades perceptivas (Figura 31), também foi adicionado o conceito das cartas convencionais em que o número de naipes no centro corresponde ao valor das cartas (Figura 44e). Isso oferece um cenário semelhante ao primeiro modo, porém com muito mais informações para o jogador assimilar.

Ainda inspirado no conceito dos testes de habilidades perceptivas, foi desenvolvido mais um modo adicional de jogo em que, ao invés de apresentar as cartas completas conforme o modo anteriormente citado, a carta objetivo apresenta apenas a quantidade de naipes e as cartas desafios apresentam apenas o valor e o respectivo naipe, dessa forma o indivíduo deve identificar quantos naipes e qual naipe e encontrar a carta equivalente (Figura 44f). No final do jogo o indivíduo recebe um resumo do seu desempenho no jogo na tela apresentada na Figura 45, tal como índice de acerto, tempo de escolha e amplitudes de movimentos.

Figura 45: Tela de resultados após uma partida. Fonte: Próprio autor.

Fazendo um resumo do que se espera de correlação direta com o ACE-R podemos citar Atenção e Concentração (5 pontos) para qualquer um dos modos, Memória Recordação e Anterógrada (10 pontos) principalmente com o Modo Memória, Habilidades Visuais-Espaciais (8 pontos) através do controle do robô e Habilidades Perceptivas (8 pontos) através do Modo ContaNaipes principalmente e um pouco o MultiNaipes. Totalizando 31 pontos que se espera de correlação direta, que não incluem nenhum ponto de Fluência Verbal e Linguagem.

Seguindo o fluxo de decisões de desenvolvimento do projeto apresentado na Figura 8

da seção 4.3, todos os assuntos citados anteriormente convergiram para a definição do jogo e, a partir dele, define-se o conjunto com o robô, os dados a serem registrados e a interface do pesquisador.

Uma classe **Logger** foi criada para gerenciar o registro das decisões realizadas pelo jogador durante as partidas, o movimento realizado pelo tornozelo para tal função e eventuais mensagens do sistema para eventuais erros que possam ocorrer durante os testes. Das decisões do jogador na partida são armazenadas o momento da escolha, modo de jogo (Figura 44), carta desafio correta e escolhida, tempo para tomada de decisão, erro ou acerto e posição das cartas desafio correta e escolhida. As posições do tornozelo são armazenadas separadamente, mas registradas as posições da inversão/eversão e plantar flexão/dorsiflexão em função do tempo, bem como suas primeiras e segundas derivadas (velocidade e aceleração). É possível relacionar as informações de escolha da partida com as do movimento do jogador através pelo momento das escolhas.

Para o pesquisador é necessário ter opções para gerenciamento do robô, jogo e informações do jogador. Também é interessante que mais de um pesquisador possa utilizar a mesma ferramenta. Desta forma a interface do pesquisador foi dividida entre dois painéis e está ilustrada na Figura 46:

1. Painel de Controle: Responsável pela comunicação e calibração do robô, ajuste do áudio, configuração e execução do jogo, configuração da assistência para o jogador e mensagens diversas.
2. Painel de Usuário: Gerenciamento e *login* do usuário do pesquisador, escolha do jogador, definição do plano de sessão para o jogador, inserir observações e definir o idioma.

Classes adicionais foram criadas para fins específicos tais como estabelecer a conexão com o robô (**Connection**), gerenciar o registro das partidas (**Logger**) ou o controle do jogador (**ControlManager**), que não foram detalhadas aqui, mas estão presentes dentro da hierarquia de classes no Apêndice F.

5.7 Procedimento para Testes

Os testes foram realizados em duas etapas: jogar com o AnkleBot e realizar o teste ACE-R. O teste ACE-R foi realizado por um profissional da saúde no mesmo dia que o teste do jogo. Antes de iniciar as atividades os indivíduos devem ler e aceitar o TCLE (Apêndice B).

No teste com o jogo, os indivíduos vestiram o equipamento do AnkleBot, receberam as instruções básicas do jogo e iniciará uma partida. Cada partida teve duração de aproximadamente 24 minutos, iniciando no Modo Básico com três cartas e a cada minuto

Figura 46: Painéis de interface para o pesquisador. Fonte: Próprio autor.

uma carta foi acrescentada até o máximo de 8 cartas. Em seguida passou para o Modo Memória, novamente com 3 cartas, aumentando 1 carta por minuto até 8 cartas e assim sucessivamente para os modos seguintes, MultiNaipes e ContaNaipes respectivamente.

Os indivíduos realizaram a atividade sentados e o robô ficou fixado na cadeira para alívio do peso, dessa forma os indivíduos só precisaram realizar esforços no tornozelo, conforme ilustrado na Figura 47. Todas as decisões tomadas pelos usuários foram armazenadas, bem como toda a movimentação realizada pelo tornozelo durante todo o tempo da partida.

Após a realização dos testes os candidatos responderam um questionário para levantamento do perfil do usuário e opinião sobre sua experiência com o jogo.

Figura 47: Indivíduo jogando com o AnkleBot. Fonte: Próprio autor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Análise Geral do Desempenho

Foram realizados testes com o jogo em 16 indivíduos saudáveis, porém apenas 15 conseguiram realizar o ACE-R para a comparação em tempo hábil. Dentre estes indivíduos, 3 tiveram dificuldade com a utilização do robô. Desta forma os indivíduos foram numerados de forma que os 12 primeiros são os que não apresentaram dificuldade com o robô, do 13 ao 15 os indivíduos que apresentaram dificuldade com o robô e o indivíduo 16 que não conseguiu realizar o teste cognitivo, portanto só esta presente nas análises de resultado do jogo. As informações detalhadas estão presentes no Apêndice G.

Como trata-se de indivíduos saudáveis, a taxa de erro na escolha da carta desafio é muito baixa e na maioria das vezes nula, portanto para avaliar o desempenho dos jogadores, utilizaremos quatro principais variáveis de tempo que serão: Tempo para Jogar, Tempo para Memorizar (apenas no Modo Memória, Figura 44c e d), Tempo para Reagir e Tempo para Escolher. Os tempos ocorrem em momentos distintos, exceto o Tempo para Reagir é caracterizado pelo tempo após a exibição das cartas desafios e o início do movimento do indivíduo, ou seja, está contido no Tempo para Escolher. Essas variáveis recebem o termo genérico Tempo para Fazer (fazer algo) e a sequência de ocorrência e eventos entre estão ilustradas

Figura 48: Ciclo de eventos durante cada turno em relação a destaque e movimentação das cartas e os tempos de ação do usuário. Fonte: Próprio autor.

As Figuras 49 e 50 exibem um comparativo de médias de Tempo para Fazer em

(a) Em relação ao Modo de Jogo.

(b) Em relação ao Número de Cartas.

(c) Em relação ao Naipes da Carta.

(d) Em relação à Cor da Carta.

Figura 49: 1º Comparativos com Tempo para Fazer. Fonte: Próprio autor.

relação aos cenários do jogo e informações dos indivíduos. A Figura 49a pode ser um indicativo de dificuldade entre os modos de jogo. O esperado seria o Modo Básico ser o mais fácil, porém ele também é o primeiro modo que o indivíduo joga e ainda está em fase de adaptação e aprendizado do jogo, não apresentando então os melhores desempenhos. O Modo Memória teve o menor tempo de reação, mas não o menor tempo de escolha, isso pode ser resultado das mudanças de escolha do indivíduo ao lembrar uma informação da carta após já ter iniciado o movimento de escolha. O Modo MultiNaipes é análogo ao Modo Básico com mais informações para serem assimiladas e mostrou-se o jogo mais fácil em relação ao Tempo para Escolher devido à familiaridade do indivíduo com o jogo conquistada ao longo da sessão. O Modo ContaNaipes se mostrou ser o modo mais difícil, pois mesmo sendo o último, em que o jogador já está familiarizado com o jogo, o Tempo de Reação e Escolha foram bem maiores que os demais. O Tempo para Jogar, que se refere ao tempo que o indivíduo leva para retornar a posição central e iniciar uma nova rodada, decaiu ao longo das sessões pois os indivíduos vão se condicionando a voltar a referida posição antes mesmo da animação das cartas terminarem.

(a) Em relação ao Valor da Carta.

(b) Em relação à Familiaridade com Jogos Virtuais.

(c) Em relação à Familiaridade com Jogos de Carta.

(d) Em relação ao Grau de Escolaridade.

Figura 50: 2º Comparativos com Tempo para Fazer. Fonte: Próprio autor.

Comportamentos análogos são observáveis na Figura 49b que apresenta o Tempo para Fazer em relação às quantidades de carta na tela. O esperado seria que, quanto mais cartas, mais tempo o indivíduo tomaria para tomar a decisão, porém o modo inicia com três cartas e vai incrementando com o tempo, portanto há uma fase de adaptação ao modo, com o decréscimo do Tempo para Fazer até aproximadamente cinco cartas (aproximadamente 3 minutos de jogo) seguida do comportamento esperado em que o Tempo de Escolha aumenta com o número de cartas. O comportamento do condicionamento descrito anteriormente para o Tempo para Jogar se repete e é possível observar o mesmo comportamento no Tempo para Memorizar, uma vez que o movimento necessário para realizá-lo é conhecido.

Analisando em relação aos naipes (Figura 49c), Paus (♣) e Espadas (♠) tiveram os maiores tempos, que pode ser justificado pela similaridade de formato e a mesma cor entre os dois, confundindo o jogador. Já os naipes Copas (♥) e Ouro (♦) também possuem a mesma cor e uma certa similaridade, porém o símbolo de Copas (♥) é o mais familiar

dentre os quatro por também ser o símbolo que representa um coração, bastante popular no cotidiano. A Figura 49d sintetiza o que pode ser visualizado analisando os naipes, que os naipes pretos podem vir a causar uma maior confusão no jogador que os naipes vermelhos.

A Figura 50a exibe as informações em relação ao valor da carta apenas para o Modo ContaNaipes que foi onde apresentou diferenças significativas. Como esperado, é possível notar uma sutil tendência de aumento de tempo em função do valor da carta devido ao tempo necessário para contar o número de naipes proporcional ao valor da carta apresentada.

Analisando a relação com o Tempo para Fazer e a Familiaridade com Jogos Virtuais (Figura 50b), nota-se que quanto mais familiarizado os indivíduos eram com jogos virtuais, melhores desempenho eles obtiveram no jogo. Apenas o indivíduo 9 considerou sua familiaridade 1 e o Indivíduo 15 familiaridade 3, o que pode justificar o maior valor para familiaridade em 3, uma vez que o indivíduo 15 teve dificuldades com o robô.

O mesmo fenômeno não ocorre para Familiaridade com Jogos de Carta (Figura 50c) que pode estar ligada à subjetividade da pergunta, por exemplo, alguém que sabe a vastidão de jogos de cartas existentes, mas sabe jogar apenas alguns pode considerar 4 e alguém que apenas considerou que sabe jogar alguns pode ter respondido 5. Ou pode ter considerado sua familiaridade apenas com as cartas. Mas ainda assim é possível notar uma tendência de melhora no desempenho com o aumento da familiaridade com jogos de carta.

Por último, analisando o desempenho no Tempo para Fazer em relação ao grau de escolaridade (Figura 50d) que mostrou um aumento no desempenho em relação ao aumento do grau de escolaridade, que pode ser um indicativo de melhoria no nível cognitivo com o aprimoramento dos conhecimentos.

6.2 Análise dos Envelopes de Movimento

Realizando o estudo de movimento dos indivíduos conforme subseção 5.2.2, foi verificado que os indivíduos que não tiveram dificuldade com a utilização do robô apresentaram o envelope de movimento com formato próximo do esperado (elíptico). Uma vez que os indivíduos que não tiveram dificuldade possuem um resultado semelhante na análise de movimento, simplificar esse estudo, o indivíduo 3 que obteve o melhor desempenho no critério Tempo de Escolha foi selecionado para o comparativo com os 3 indivíduos que tiveram dificuldade com o robô, as demais análises pode ser vista no Apêndice H.

A Figura 51 mostra que o envelope de movimento do indivíduo 3 acompanha quase rente o espaço de trabalho elíptico utilizado pelo jogo como referência. O indivíduo 13 quase se aproximou do espaço, deixando algumas pequenas lacunas e os demais indivíduos possuem grandes lacunas. Um ponto importante ao observar o envelope do indivíduo 15 é

o comportamento bastante linear entre a plantar flexão e inversão. Este comportamento foi identificado durante os testes como um erro de montagem do equipamento, que fez com que um dos acionadores alcançasse o fim de curso durante esse movimento.

Figura 51: Envelope de movimento e espaço de trabalho dos indivíduos 3, 13, 14, e 15. Fonte: Próprio autor.

Para analisar como essa limitação impacta no desempenho do jogador é necessário realizar uma mudança de coordenadas cartesianas (Figura 52a) para polares (Figura 52b), onde os movimentos do tornozelo e espaço de trabalho ficam em função da amplitude de movimento (coordenada polar linear r) e o quadrante de movimento (coordenada polar angular ϕ).

Será definido como Índice de Alcance a relação percentual entre a amplitude do movimento do tornozelo e a amplitude do espaço de trabalho nas novas coordenadas. A Figura 53 mostra o comparativo entre esse índice e o Tempo de Escolha médio para cada ângulo dos quadrantes de movimento.

O indivíduo 3 tem dois vales no Índice de Alcance sendo um de 82% em 150 deg e outro de 81% em 240 deg, porém os tempos médios se distribuem ao longo dos quadrantes ($1.5 \pm 0.1s$), indicando que o alcance tem pouca influência no Tempo de Escolha.

O indivíduo 13 possui também dois grandes vales no Índice de Alcance sendo um de 69% em volta de 40 deg e outro de 71% em volta de 130 deg, porém com picos de tempo de $\approx 3.2s$ e $\approx 3.8s$, respectivamente, próximo desses vales. O mesmo ocorre nos outros indivíduos, com o 14 com um grande vale no Índice de Alcance entre 110 deg e 180 deg com

Figura 52: Mudança de coordenada do envelope de movimento e espaço de trabalho para coordenadas polares. Fonte: Próprio autor.

Figura 53: Índice de Alcance e o Tempo de Escolha em relação aos quadrantes de movimentos. Fonte: Próprio autor.

índices inferiores a 60% e mínimo de 46%, com Tempos de Escolha a partir de 3.8s até o máximo de 8.2s, e o 15 também com grande vale no Índice de Alcance entre 110 deg e 180 deg com índices inferiores a 68% e mínimo de 53%, com Tempos de Escolha a partir de 3.5s até o máximo de 6.9s. Estes resultados indicam grande correlação entre a dificuldade em atingir um espaço de trabalho com a redução de desempenho no jogo, indicando que a dificuldade de utilizar o robô pode ter grande influência no desempenho e prejudicando a

correlação com o exame cognitivo.

6.3 Análise dos Movimentos no Tempo

Foram analisados o desempenho geral e os envelopes de movimentos, nessa secção é analisado o comportamento dos movimentos ao longo do tempo, ou seja, como os indivíduos movimentam o tornozelo durante as escolhas.

Através dos valores da Amplitude de Movimento ao longo do tempo é possível determinar o Tempo de Reagir, quando a amplitude supera um Critério de Subida (Figura 54a), que para nosso estudo será 5% da Amplitude Final. O tempo Confirmando Escolha se inicia ao indivíduo posicionar o Cursor sobre a Carta Desafio escolhida e não é considerado no Tempo de Escolha.

Figura 54: Amplitude e Quadrante de movimento de uma jogada ao longo do tempo. Fonte: Próprio autor.

Analisando o Quadrante de Movimento na Figura 54b é possível observar que a variação do Quadrante de Movimento é muito sensível quando a Amplitude é próxima de zero, comportamento devido ao sistema de coordenadas polares e será tratado posteriormente na subseção 6.3.2.

6.3.1 Amplitude de Movimento

A jogada da Figura 54 foi selecionada especificamente para ilustrar as variáveis envolvidas, porém o perfil de movimento não segue necessariamente sempre um mesmo padrão conforme, a Figura 55a mostra as outras jogadas do mesmo indivíduo, mesmo modo de jogo e número de cartas da jogada anteriormente apresentada. A análise se torna ainda mais inviável considerando todas as jogadas de um único indivíduo, como ilustra Figura 55b.

(a) Todas do Modo Básico com 5 cartas do Indivíduo.

(b) Todas as jogadas do Indivíduo 3.

Figura 55: Amplitude de Movimento ao longo do tempo. Fonte: Próprio autor.

Para analisar o padrão de movimento de cada indivíduo, a Amplitude de Movimento é normalizada na Amplitude Final e o tempo entre o Tempo para Reagir e o Tempo para Escolher, ambos individualmente para cada escolha. Obtemos então, para ambos os gráficos apresentados na Figura 55 as curvas normalizadas apresentadas na Figura 56. É possível notar, principalmente na Figura 56a, o surgimento de alguns padrões de movimento como uma rápida subida seguida de uma espera que pode ser uma mudança de decisão, um erro de posicionamento, alguns movimentos oscilatórios que pode indicar um movimento não retilíneo e alguns padrões sobrepostos como o apresentado na Figura 54a.

(a) Todas do Modo Básico com 5 cartas do Indivíduo.

(b) Todas as jogadas do Indivíduo 3.

Figura 56: Amplitude Movimento ao longo do tempo normalizados. Fonte: Próprio autor.

Para caracterizar o movimento do indivíduo, cada curva foi segmentada em intervalos de tempo normalizado de 0.05 e em seguida realizado o cálculo da média e o desvio

padrão (σ) da amplitude normalizada para cada intervalo. Assumindo uma distribuição normal, somar e subtrair dois sigmas da média define a região que contém 95% das trajetórias realizadas. A Figura 57 ilustra o resultado para o Indivíduo 3.

Figura 57: Média, média $\pm 2\sigma$ e derivada da média da Amplitude Movimento ao longo do tempo normalizados de todas as jogadas do Indivíduo 3. Fonte: Próprio autor.

O movimento médio realizado pelo Indivíduo 3 possui comportamento semelhante à uma entrada degrau em um sistema massa-mola subamortecido amortecido, podendo variar para $+2\sigma$, passando por criticamente amortecido chegando até a subamortecido, ou variar para -2σ , se tornando mais superamortecido. A Figura 58 é obtida aplicando o mesmo procedimento para a Amplitude de Movimento dos demais indivíduos

Figura 58: Caracterização das jogadas de cada indivíduo pela Amplitude Movimento. Fonte: Próprio autor.

A Figura 58a mostra que a maioria dos indivíduos tiveram um comportamento parecido e semelhante ao apresentado na Figura 57 com pequenas variações nas médias ou desvios padrões. Porém três curvas se destacaram e são pertencentes três indivíduos que tiveram dificuldade em utilizar o robô.

Analisando a Figura 58a, todos os três indivíduos apresentaram valores de σ superiores aos demais indivíduos sem problemas com o robô. O indivíduo 15 que teve dificuldade com o robô devido a instalação não apresentou oscilações nos valores de σ ao longo do tempo normalizado, diferente dos outros dois indivíduos com dificuldade. Essa oscilação pode ser associada aos diferentes perfis de movimentos que a dificuldade natural do indivíduo com o robô pode gerar.

O indivíduo 13, que teve a menor dificuldade e o melhor aproveitamento do espaço de trabalho elíptico (seção 6.2) apresentou a média de Amplitude de Movimento similar aos demais indivíduos sem problemas com o robô, diferente dos outros dois indivíduos que apresentaram uma subida mais rápida no início. Essa maior velocidade inicial pode ser resultado da dificuldade em atingir o objetivo no final do Tempo de Escolha, que foi menos acentuada no indivíduo 13.

Analisando a Figura 58b, nota-se que a tendência média de movimento é iniciar com alto pico de velocidade (aceleração e jerk altos) para uma rápida aproximação em sentido ao alvo, seguido do decaimento da velocidade, com o intuito de afinar o controle da posição final e novamente um aumento da velocidade para completar o percurso e atingir o alvo.

6.3.2 Quadrante de Movimento

A Figura 59a mostra o Quadrante de Movimento das outras jogadas do mesmo indivíduo, mesmo modo de jogo e número de cartas da jogada apresentada na Figura 54. Novamente uma análise com os dados brutos é inviável, principalmente considerando todas as jogadas (Figura 59b).

Devido ao problema anteriormente citado, da alta perturbação do Quadrante de Movimento próximo a origem (Amplitude próxima de zero), a sua normalização consiste em uma rotação angular no valor oposto do ângulo final da jogada, ou seja, terminando o movimento em zero graus. Além disso, o Quadrante de Movimento é submetido à função $\sin$ e multiplicado pela respectiva Amplitude de Movimento Normalizada. Essa transformação resulta na Amplitude de Movimento Normalizada Transversal em relação ao eixo que passa pela posição inicial e a final no EM. Sendo valores positivos ou negativos indicam de qual lado do eixo o movimento se encontra, sendo positivo para o sentido anti-horário.

Obtemos então, para as jogadas de ambos os gráficos apresentados na Figura 59 as curvas normalizadas apresentadas na Figura 60.

(a) Todas do Modo Básico com 5 cartas do Indivíduo.

(b) Todas as jogadas do Indivíduo 3.

Figura 59: Quadrante de Movimento ao longo do tempo. Fonte: Próprio autor.

O objetivo da transformação fica mais claro na Figura 60a que ilustra o quão o indivíduo se desloca da trajetória retilínea entre a posição inicial e a final.

(a) Todas do Modo Básico com 5 cartas do Indivíduo.

(b) Todas as jogadas do Indivíduo 3.

Figura 60: Amplitude de Movimento Transversal ao longo do tempo normalizados. Fonte: Próprio autor.

Novamente segmentando as curvas em intervalos de tempo normalizado de 0.05, são realizados os cálculos de média e desvio padrão da Amplitude Transversal Normalizada para cada intervalo. Aplicando novamente $\pm 2\sigma$, para determinar o intervalo de 95%, resulta na Figura 61.

A Figura 61 mostra que o movimento do jogador tende a ir para o alvo em linha reta, com maiores desvios da trajetória no início do movimento, provavelmente causados pela saída rápida da posição inicial e afunilando próximo a posição final, quando a velocidade

Figura 61: Média, média $\pm 2\sigma$ da Amplitude Transversal de Movimento ao longo do tempo normalizados de todas as jogadas do Indivíduo 3. Fonte: Próprio autor.

diminui para afinar o controle da posição final. A Figura 62 é obtida aplicando o mesmo procedimento para o Quadrante de Movimento dos demais indivíduos.

Figura 62: Caracterização das jogadas de cada indivíduo pelo Quadrante de Movimento. Fonte: Próprio autor.

Analisando a Figura 62a, dois indivíduos se destacam pela amplitude do 2σ , apresentando as maiores amplitudes e comportamento oscilatório similar à Figura 58a, porém são os indivíduos 10 e 12, que não reclamaram de dificuldades com o robô durante as partidas, porém, segundo o questionário o indivíduo 10 se considerou com a mínima nota (1) no quesito Familiaridade com Jogos virtuais, que pode um fator de influência na precisão dos seus movimentos durante a escolha. Já o indivíduo 12 se considerou nota máxima (5) nesse quesito, entretanto na questão "O que achou da jogabilidade do Robô?" se

mostrou insatisfeito, com nota similar aos indivíduos que tiveram dificuldade (Nota 2 contra média de 2.3 entre os indivíduos com dificuldade). Portanto é possível que, ao operar o robô, o indivíduo tenha tido dificuldade diferente, que não estivesse relacionada com o pacote de movimento, mas por outro fator, como o atrito do robô, por exemplo. O indivíduo 15, que teve dificuldade, também apresentou valores maiores nos 2σ em relação aos demais, porém sem oscilação, similar ao que ocorreu com a Amplitude de Movimento. Os outros dois indivíduos com dificuldade com o robô apresentaram comportamento similar aos demais jogadores nesse quesito.

Analisando apenas a Amplitude Transversal Média (Figura 62b), é possível ver que o comportamento oscilatório nos indivíduos 10 e 12, confirmando a dificuldade em realizar um movimento retilíneo médio. Outros dois indivíduos apresentaram grandes amplitudes na média, o indivíduo 15, que teve dificuldade com o robô devido ao erro de montagem. O outro é o indivíduo 16 que era destro jogando com o pé esquerdo, porém o indivíduo 8 estava na mesma situação e não apresentou esse padrão de movimento, nem o indivíduo 1 que era canhoto jogando com o pé direito. Não foi possível identificar uma causa clara para o desvio da trajetória nesse caso.

Uma característica a ser observada nos demais indivíduos é a tendência de iniciar o movimento com a amplitude transversal negativa (sentido horário) inicialmente e, em alguns casos, cruzar a trajetória e chegar no destino final pelo lado oposto, como se realizasse uma trajetória em "S". Isso trata-se de uma tendência geral do movimento, que pode apresentar comportamentos distintos conforme os quadrantes e deve ser analisado futuramente.

6.3.3 Opinião dos Indivíduos

Após os testes com o jogo com o robô os indivíduos responderam um questionário de opinião sobre sua experiência que constava questões com escala de 1 a 5. A Figura 63 apresenta as perguntas do questionário final com suas respectivas escalas e a opinião geral dos indivíduos. É possível afirmar que houve uma ótima aceitação do jogo pelos indivíduos que testaram com notas acima de 4.0 chegando até 4.8, enquanto o robô teve uma aceitação mediana com pontuação inferiores ou iguais a 3.5. A pior nota foi sobre o quão cansativo foi jogar (2.8), que pode estar ligado diretamente ao robô, uma vez que as notas em relação ao jogo foram altas e inclusive o tempo de jogo foi bem aceito. Esse cansaço pode ser pelo fato do robô possuir muito atrito (pouca *backdrivability*) que dificultava na movimentação e posicionamento do membro pelos indivíduos.

6.4 Análise do Nível Cognitivo

Nessa seção é feito um comparativo do desempenho dos indivíduos em relação ao seu resultado no ACE-R. Como foi mostrado na seção 6.1, muitos fatores podem ter

Figura 63: Opinião geral dos indivíduos após os testes. Fonte: Próprio autor.

influenciado esse desempenho e pensando nisso os indivíduos estão acompanhados de informações de Familiaridade com **Jogos Virtuais**, indicado por J e sua resposta de 1 a 5 (exemplo J-5) e de sua Familiaridade com Jogos de **Carta** indicado por C e sua resposta de 1 a 5 (exemplo C-5). Além disso, também acompanha seu resultado percentual em cada domínio cognitivo nessa ordem: Orientação e Atenção, Memória, Fluência Verbal, Linguagem e Visual Espacial. Separados por vírgula entre parênteses, por exemplo (100, 96, 93, 100, 100). A Tabela 7 apresenta os valores do ACE-R para cada indivíduo, bem como o desempenho em cada domínio cognitivo (na ordem da representação simplificada) e as familiaridades.

Recapitulando o levantamento de correlação esperada na seção 5.6, que concluiu que espera-se correlação direta com 31 pontos. Organizando por domínios cognitivos temos: Orientação e Atenção (5 / 18); Memória (10 / 26); Fluência Verbal (0 / 14); Linguagem (0 / 26); Visual-Espacial (16 / 16).

Pela Tabela 7 é possível notar que o resultado médio dos indivíduos no domínio que se esperava a maior correlação foi o melhor (0.2 pontos de erro com máximo de 1 ponto) e em um domínio que não se esperava correlação, no caso Fluência, tiveram o pior resultado médio (3.1 pontos de erro com máximo de 6 pontos). Fatores que podem prejudicar a correlação, em contrapartida, no nível Atenção e Orientação, o erro médio foi

Tabela 7: Resultado ACE-R (AR) dos indivíduos (Ind.) junto com Atenção e Orientação (AO), Memória (ME), Fluência (FV) Verbal, Linguagem (LG) e Visual Espacial (VE). E as respectivas familiaridades com Jogos Virtuais (J) e Jogos de Carta (C). Mais a referência (Ref.), média e erro.

Variável	ACER	AO	ME	FL	LG	VE	J	C
Referência	(100)	(18)	(26)	(14)	(26)	(16)	(5)	(5)
Indivíduo 1	89	16	23	8	26	16	4	3
Indivíduo 2	95	18	23	12	26	16	4	4
Indivíduo 3	98	18	25	13	26	16	5	5
Indivíduo 4	96	17	23	14	26	16	5	5
Indivíduo 5	90	16	24	9	26	15	5	5
Indivíduo 6	95	18	24	11	26	16	5	3
Indivíduo 7	96	17	26	11	26	16	5	2
Indivíduo 8	88	15	23	9	26	15	5	2
Indivíduo 9	92	18	21	11	26	16	4	4
Indivíduo 10	91	18	21	11	25	16	1	2
Indivíduo 11	89	18	20	11	24	16	5	5
Indivíduo 12	96	16	24	14	26	16	5	4
Indivíduo 13	92	16	22	13	25	16	5	3
Indivíduo 14	90	18	22	9	26	15	5	4
Indivíduo 15	93	18	25	8	26	16	3	3
Média	92.7	17.1	23.1	10.9	25.7	15.8	4.4	3.6
Erro Médio	7.3	0.9	2.9	3.1	0.3	0.2	-	-

de 0.9 pontos com máximo de 3 pontos e em Memória foi erro médio de 2.9 pontos com máxima de 6 pontos, que podem vir a favorecer a correlação.

6.4.1 Análise Visual dos Desempenhos

Como dito anteriormente, por se tratar de indivíduos saudáveis, o índice de erro nas escolhas da Carta Desafio é irrisório ou nulo, não sendo um bom indicativo de desempenho, portanto o desempenho dos indivíduos no jogo é analisado através dos Tempos para Fazer e comparados com o desempenho no ACE-R, que estão plotados em gráficos bolha, onde a posição representa a média de tempo versus ACE-R e a largura da bolha o desvio padrão do tempo, para dar um indicativo do quanto pode variar o tempo em questão. Nessa secção é apresentada apenas o desempenho geral do indivíduo no jogo, detalhes de desempenho nos modos de jogo estão no Apêndice I.

O primeiro tempo a ser analisado é o Tempo para Jogar na Figura 84. Sem considerar o indivíduo 15 (ACE-R = 93) é possível notar o afunilamento do tempo médio, no sentido de melhor desempenho no jogo, conforme melhora o desempenho no ACE-R. Como essa variável consiste no tempo para movimentar o cursor para o centro da tela após uma escolha e iniciar uma nova partida, o desempenho dos indivíduos que tiveram dificuldade com o envelope de movimento não deveria ser afetado, porém o desempenho do

indivíduo 15, que teve dificuldade com o robô devido a instalação, se localiza muito acima do esperado. É possível que seja consequência da não familiaridade com jogos virtuais (J-3).

Figura 64: Tempo para Jogar médio em relação ao ACE-R para cada indivíduo. Fonte: Próprio autor.

Também é possível notar que os indivíduos com níveis cognitivos similares, mas que obtiveram melhores desempenhos possuem em sua maioria melhor familiaridade com jogos virtuais. Indivíduos com melhores resultados em Atenção e Orientação também obtiveram melhores resultados em níveis cognitivos similares, que está condizente com o evento analisado, uma vez que o indivíduo sempre tem que voltar o cursor para o centro da tela para iniciar um novo turno, se ele estiver atento não precisará esperar o recolhimento das cartas (Figura 48).

O Tempo para Memorizar tem uma característica similar com o Tempo para Jogar, pois a posição do botão OK (Figura 44c) é sempre a mesma, então o indivíduo, por ter um nível cognitivo saudável, pode utilizar o tempo que o cursor está definindo uma escolha para memorizar a Carta Desafio. Possivelmente por esse cenário, o comparativo não apresentou uma boa correlação com o desempenho e foi também adicionado ao Apêndice I.

Analisando o Tempo de Reação (Figura 85) é possível notar novamente o afunilamento dos pontos conforme o desempenho dos indivíduos no ACE-R aumenta. Vale também destacar que os indivíduos com os melhores Tempo de Reação tem um melhor desempenho conforme aumenta o nível cognitivo. Também é possível observar que para

indivíduos com nível cognitivo semelhantes (exemplo ACE-R ≈ 96), porém com melhor desempenho em Atenção e Orientação e/ou a maior familiaridade com jogos virtuais, obtiveram melhores desempenhos no Tempo para Reagir.

Figura 65: Tempo para Reagir médio em relação ao ACE-R para cada indivíduo. Fonte: Próprio autor.

O Tempo para Escolher é a variável mais importante dentre as quatro pois é a que melhor reflete as decisões dos indivíduos. Na Figura 86 podemos ver novamente o comportamento de afunilamento dos pontos conforme melhora o nível cognitivo. Dessa vez os três indivíduos que tiveram dificuldades com a utilização do robô (13, 14 e 15) aparecem com o pior desempenho no critério, não condizente com os outros indivíduos com níveis cognitivos similares.

Analisando os indivíduos com melhores desempenhos no Tempo para Escolher é possível notar novamente uma melhora no desempenho conforme aumento do nível cognitivo. Para indivíduos com níveis cognitivos semelhantes, também houveram piores desempenho no jogo em função dos valores de Atenção e Orientação, Memória ou familiaridade com jogos virtuais.

6.4.2 Análise Através de Regressão

Para verificar numericamente as análises da subseção 6.4.1, através do *software* livre WEKA¹ foi aplicado um cálculo de regressão linear que determina quais constantes

¹ Waikato Environment for Knowledge Analysis

Figura 66: Tempo para Escolher médio em relação ao ACE-R para cada indivíduo. Fonte: Próprio autor.

devem multiplicar cada variável a fim de que o somatório final resulte no valor igual ou aproximado do ACE-R. Variáveis não numéricas como Modo de Jogo recebem um peso. A primeira regressão linear foi realizada apenas com os valores das médias de Tempo para Fazer e algumas informações de jogo e resultou na Tabela 8. Os três indivíduos que tiveram dificuldade com o robô não foram considerados por terem seus desempenhos afetados por questões não cognitivas.

Tabela 8: Resultado da Regressão Linear Simplificada

Pesos	Valor
Constante	87.41
Taxa de Acerto	7.05
Básico	0.663
Memória	0.584
MultiNaipes	0.000
ContaNaipes	1.154
Número de Cartas	0.002
Familiaridade com Jogos Virtuais	0.262
Familiaridade com Jogos de Carta	0.113
Tempo para Reagir Média	0.471
Tempo para Jogar Média	-0.208
Tempo para Memorizar Média	-0.545
Tempo para Escolher Média	-1.893

O valor constante indica qual é o patamar inicial do cálculo, nesse caso, próximo de 87 pontos que é 1 ponto abaixo do mínimo dentre os indivíduos, porém os pesos das variáveis do jogo irão aumentar esse patamar. A taxa de acerto com valor positivo está coerente indicando que quanto mais alta a taxa de acerto maior é o nível cognitivo. É interessante observar que a taxa de acerto é próxima de 1 (100%), que multiplicada pela constante (7.05) e adicionada à constante (87.41) eleva o patamar para 94.46 pontos, próximo da média, variando conforme as demais variáveis.

Analisando a variável Modo de Jogo constata-se que o Modo ContaNaipes é o mais difícil, pois um peso maior significa que o resultado está aumentando o patamar cognitivo inicial. Modo Básico (que o indivíduo ainda está se habituando ao jogo) foi o segundo mais difícil e o MultiNaipes o mais fácil. Informações que foram observadas na seção 6.1. O número de cartas também recebeu um peso positivo, indicando que quanto mais cartas, maior a exigência no desempenho.

Ambas as variáveis de familiaridade tiveram coeficientes positivos, indicando que quanto maior a familiaridade dos indivíduos com Jogos Virtuais e de Carta, maior é o patamar de desempenho cognitivo do qual eles partem. É interessante observar que a familiaridade com Jogos Virtuais obteve um coeficiente maior, indicando uma maior influência no desempenho, como observado nas seções anteriores.

Para as variáveis de Tempo para Fazer, o esperado são coeficientes negativos, pois espera-se um maior nível cognitivo conforme essas variáveis diminuam. Três dos quatro Tempo para Fazer tiveram coeficientes negativos conforme o esperado, que condiz com a análise realizada na seção anterior, porém não o Tempo para Reagir que pode ser resultado dos indivíduos com alto índice cognitivo com alto valores de Tempo para Reagir e o inverso.

Essa regressão linear apresentou um erro absoluto médio de 2.75 pontos ACE-R que pode ser considerado pequeno diante dos 100 pontos totais, porém os níveis cognitivos dos indivíduos em questão variam de 88 a 98, totalizando uma diferença máxima de 10 pontos. No intuito de melhorar esse erro absoluto médio, foi realizada uma regressão linear para cada modo de jogo e incluir os valores de desvio padrão para as variáveis de tempo.

Observando os resultados da regressão mais completa apresentados na Tabela 9, é possível identificar e confirmar algumas informações. Pelo valor das constantes, novamente é possível dizer que o Modo ContaNaipes é o mais difícil, partindo de 74.9 pontos, seguido do Modo Básico que parte de 92.11, Memória com 98.25 e MultiNaipes com 98.36, muito próximo do Modo Memória.

Em relação à Taxa de Acerto surgiu um coeficiente inesperado, com valor negativo em relação modo memória, que, em tese, indicaria que maior Taxa de Acerto resulta em menor nível cognitivo, porém esse valor pode ser resultado de casos específicos em que

Tabela 9: Resultado da Regressão Linear aprimorada e para cada Modo de Jogo

Modo de Jogo	Básico	Memória	MultiNaipes	ContaNaipes
Constante	92.11	98.25	98.36	74.90
Taxa de Acerto	-	-5.619	-	17.33
Familiaridade com Jogos Virtuais	1.155	0.430	0.018	0.349
Familiaridade com Jogos de Carta	-0.404	0.157	0.120	0.161
Número de Cartas	0.521	0.439	0.128	0.152
Tempo para Reagir Médio	-1.500	-2.337	-4.234	2.241
Tempo para Jogar Médio	-1.646	-2.264	-4.696	-13.797
Tempo para Memorizar Médio	-	-1.555	-	-
Tempo para Escolher Médio	-1.361	-1.895	-2.488	-2.742
Tempo para Reagir σ	-7.528	2.337	6.809	-0.275
Tempo para Jogar σ	3.279	3.023	4.867	11.314
Tempo para Memorizar σ	-	4.007	-	-
Tempo para Escolher σ	1.870	0.297	0.391	1.178
Erro Médio Absoluto	2.17	2.48	2.42	2.28

jogadores com maior nível cognitivo erraram em suas escolhas e deve se inverter caso haja um conjunto amostral maior. O Modo ContaNaipes apresentou um coeficiente coerente com o esperado e bastante influência no resultado cognitivo final, considerando a Taxa de Acerto vai estar próxima de 1 (100%).

A familiaridade com Jogos virtuais apresentou coeficientes positivos, como esperado, e mostrou ter uma maior influência no Modo Básico, que é o primeiro a ser jogado, indicando que indivíduos com maior familiaridade com jogos virtuais conseguem um melhor desempenho inicial. Para o Modo Básico a situação se inverte para a familiaridade com Jogos de Carta, em que o coeficiente é negativo. Uma possível causa para isso é a diferença entre o design das cartas apresentadas no Modo Básico (design simplificado, Figura 39) serem diferentes das cartas comuns (Figura 37) poderem causar alguma confusão inicial nos jogadores com familiaridade, porém não é possível comprovar essa hipótese apenas com as informações obtidas.

Os coeficientes de Tempo para Fazer foram negativos conforme o esperado, exceto o Tempo para Reagir no Modo ContaNaipes, em que os indivíduos devem contar quantos naipes existe na Carta Objetivo e encontrar o valor e naipes equivalente nas Cartas Desafio, devido a isso, é possível que os indivíduos com maior nível cognitivo utilizem melhor o tempo antes de reagir para assegurar o resultado correto, fazendo com que maior tempo para reagir nesse modo favoreça o resultado de nível cognitivo.

O desvio padrão (σ) do Tempo para Fazer é um indicativo do quão variou esse valor da média e o que pode ser observado na análise visual da subseção 6.4.1 (diâmetro da bolha) é que o padrão era independente do nível cognitivo, estando mais atrelado ao desempenho do indivíduo no jogo, ou seja, quanto menor era a média de Tempo para Fazer,

menores valores de desvio padrão obtidos, como se suas jogadas fossem padronizadas. Não foi possível estabelecer um paralelo através da regressão linear.

O erro médio absoluto de todos os modos de jogo foram melhor que da análise simplificada, porém ainda não foram valores satisfatórios. Um fator que pode ter contribuído para grandes diferenças entre níveis cognitivos similares é que não foi dada a instrução aos jogadores de realizarem suas escolhas no menor tempo possível, ou dado um incentivo dentro do jogo para isso, o que pode estar relacionado com o fato dos jogadores com familiaridade com jogos virtuais terem melhor desempenho no jogo, pois já estão condicionados a buscarem o melhor desempenho. Outro fator que pode ter contribuído nesse sentido foi a ausência de uma rodada teste para ambientação do indivíduo com o jogo.

7 CONCLUSÕES

As análises gerais de desempenho dos indivíduos no jogo mostraram que jogo impões desafios aos indivíduo que afetam o desempenho dos mesmo no jogo. Por ser o primeiro contato dos indivíduos com o jogo, também foi possível ver os mesmos aprimorarem suas habilidades ao longo de uma sessão única, conseguindo melhores desempenhos em cenários mais difíceis. Para trabalhos futuros essa curva de aprendizado pode ser estudada. Diversos fatores podem influenciar no desempenho dos indivíduos tal como familiaridade com jogos virtuais ou grau de escolaridade, para trabalhos futuros essas informações podem ser aprimoradas ou trabalhar no sentido de eliminar essas influências.

Quanto às análise do envelope de movimento em relação ao espaço de trabalho elíptico mostrou que os indivíduos podem apresentar padrões diferentes de envelopes que não elípticos e isso deve ser levado em consideração na definição do espaço de movimento do jogo. Os problemas surgidos em detrimento dessa diferença vieram a influenciar muito o desempenho dos indivíduos testados, dificultando a correlação cognitiva. Trabalhos futuros na linha de reabilitação de tornozelo devem considerar a possibilidade de espaços de movimentos diversos. Trabalhos futuros na linha de análise cognitiva devem procurar interfaces com o usuário menos restritivas no intuito de obter uma melhor correlação.

Análises de movimento ao longo do tempo mostraram que a amplitude de movimento média realizado pelos indivíduos durante o jogo possuem comportamentos semelhantes à uma entrada degrau em um sistema massa-mola subamortecido amortecido, podendo chegar a chegar a criticamente amortecido e subamortecido. Diferente do que Flash e Hogan (1985) mostram em relação ao membro superior, para se deslocar de um ponto a outro, que se aproxima de uma curva de mínimo jerk. Porém, além de se tratar de membro superior ao invés de inferior, em seu próprio trabalho ele deixa claro que não é realizado nenhum movimento extremamente rápido, diferente do trabalho em questão em que a tendencia é o jogador se sentir motivado a realizar o movimento o mais rápido possível uma vez que identificou a posição alvo. Informações sobre a cinemática das escolhas podem ser útil em trabalhos futuros para definir o comportamento da força assistiva e a janela de tempo em que ela deve atuar. Quanto ao quadrante de movimento, foi possível observar que o movimento se aproxima de um movimento retilíneo com maior variação no início do movimento, porém trabalhos futuros devem explorar os movimentos para cada quadrantes e a relação tornozelo direito/esquerdo com indivíduos com dominância no membro inferior do lado direito/esquerdo.

Pelo questionário de opinião verificou-se uma ótima aceitação do jogo pelos indivíduos com uma ressalva quanto a aceitação do robô que pode ter tornado a experiência exaustiva, mesmo tratando-se de indivíduos saudáveis, ponto importante em trabalhos

futuros quando se tratarem de indivíduos com AVC que possuem habilidades motoras prejudicadas.

E finalmente as análises de desempenho em relação aos níveis cognitivos mostraram que é possível estabelecer uma boa correlação entre o desempenho dos indivíduos no jogo e seu nível cognitivo e cada modo de jogo afeta de formas diferentes o desempenho dos indivíduos. Porém existem diversos fatores que influenciam no resultado, como as instruções passadas para o indivíduo sobre como jogar. É necessário eliminar variáveis que interfiram na correlação como, por exemplo, a utilização de uma interface de maior familiaridade, ao invés do controle pelo tornozelo ou uma definição de espaço de movimento ajustável a diversos formatos, ou um sessão de aprendizado para familiarização do indivíduo. Também é importante uma maior amostra de indivíduos saudáveis para análise de vários indivíduos com o mesmo nível cognitivo e posteriormente indivíduos com maior variação nos níveis cognitivos.

Este trabalho seguiu uma metodologia para ser desenvolvido desde a sua fase de conceituação, definição e análise dos elementos envolvidos, conceituação, desenvolvimento, testes e validação, podendo ser utilizado como guia para novos desenvolvimentos de jogos sérios integrado com mecanismos robóticos para reabilitação. Seguiu todos os procedimentos necessários para testes com pessoas tal como medidas de segurança, utilização de equipamentos homologados e aprovação de comitê de ética para os testes com indivíduos saudáveis. No Apêndice A encontra-se o projeto enviado para o comitê de ética para trabalhos futuros com pacientes vítimas de AVC.

Os resultados se mostraram satisfatórios dentro dos objetivos estabelecidos dando abertura para diversas frentes de estudo em relação a desenvolvimento de jogos, imersão e desempenho de indivíduos em jogos virtuais, cinemática do tornozelo e níveis cognitivos.

REFERÊNCIAS

AGRELL, B.; DEHLIN, O. The clock-drawing test. **Age and Ageing**, v. 27, n. November, p. 399–403, 1998.

ANDRADE, K. D. O. et al. Dynamic Player Modelling in Serious Games Applied to Rehabilitation Robotics. **2014 Joint Conference on Robotics: SBR-LARS Robotics Symposium and Robocontrol**, p. 211–216, 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7024283>>.

ANDRADE, K. O. et al. Relative performance analysis for robot rehabilitation procedure with two simultaneous users. **Proceedings of the IEEE RAS and EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics**, p. 1530–1534, 2012. ISSN 21551774.

_____. Serious Games for Robotic Rehabilitation of Ankle Movements. **XXI International Congress of Mechanical Engineering (COBEM)**, 2011.

APPELROS, P. et al. Neglect and anosognosia after first-ever stroke: Incidence and relationship to disability. **Journal of Rehabilitation Medicine**, v. 34, n. 5, p. 215–220, 2002. ISSN 16501977.

BAECKE, J.; BUREMA, J.; FRIJTERS, J. The Questionnaire of Baecke et al for Measurement of a Person's Habitual Physical Activity. **The American Journal of Clinical Nutrition**, p. 936–942, 1982.

BARBALHO, S. C. M. Modelo de referência para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos: proposta e aplicações. **USP, São Carlos**, p. 275, 2006.

BAYS, C. L. Older adults' descriptions of hope after a stroke. **Rehabilitation nursing : the official journal of the Association of Rehabilitation Nurses**, v. 26, n. 1, p. 18–20, 23–7, 2001. ISSN 0278-4807.

BIONIKA IMT. Bionika, 2017. Disponível em: <bionikusa.com>. Acesso em: 30 nov. 2017.

BLENDER. Blender, 2017. Disponível em: <www.blender.org>. Acesso em: 13 nov. 2017.

BLUM, L.; KORNER-BITENSKY, N. Usefulness of the Berg Balance Scale in Stroke Rehabilitation: A Systematic Review. **Physical Therapy**, v. 88, n. 5, p. 559–566, 2008. ISSN 0031-9023.

BUUR, J.; ANDREASEN, M. M. **A theoretical approach to Mechatronics Design**. 1990. 148 p. Tese (Doutorado), 1990.

CARVALHO, V. A.; CARAMELLI, P. Brazilian adaptation of the Addenbrooke's Cognitive Examination-Revised (ACE-R). **Dementia & Neuropsychologia**, v. 2, p. 212–216, 2007.

CONSONI, L. J. et al. A robotic telerehabilitation game system for multiplayer activities. **Proceedings of the IEEE RAS and EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics**, v. 2016-July, p. 798–803, 2016. ISSN 21551774.

_____. A Computational Game for Robotic Rehabilitation and Motor Learning Studies. **RoboControl**, p. 1–7, 2012.

COPAG Regular Face. Gambler Romania, 2016. Disponível em: <<http://www.gambleromania.com/copag-regular-face>>. Acesso em: 22 set. 2016.

DIMYAN, M. A.; COHEN, L. G. Neuroplasticity in the context of motor rehabilitation after stroke. **Nature reviews. Neurology**, v. 7, n. 2, p. 76–85, 2011. ISSN 1759-4758. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nrneurol.2010.200>>.

DRACHEN, A.; GÖBEL, S. Methods for Evaluating Gameplay Experience in a Serious Gaming Context. **International Journal of Computer Science in Sport**, v. 9, p. 1–12, 2010. ISSN 16844769. Disponível em: <<http://hci.usask.ca/uploads/174-Methods-for-Evaluating-Gameplay-Experience-in-a-Serious-Gaming-Context.pdf>>.

ELUI, V. M. C. et al. Dynamic orders integrating additive manufacture and cooperative robotics Órtesis dinámica integrando manufactura aditiva y robótica cooperativa. v. 1, n. 4, p. 482–489, 2017.

ERMI, L.; MÄYRÄ, F. Fundamental Components of the Gameplay Experience: Analysing Immersion. In: **Changing Views: Worlds in Play**. [S.l.: s.n.], 2005. p. 15–27. ISBN 0820486434. ISSN 10641262.

FATONE, S.; HANSEN, A. H. Effect of ankle-foot orthosis on roll-over shape in adults with hemiplegia. **Journal of rehabilitation research and development**, v. 44, n. 1, p. 11–20, 2007. ISSN 0748-7711.

FLASH, T.; HOGAN, N. The coordination of arm movements: an experimentally confirmed mathematical model. **The Journal of neuroscience**, v. 5, n. 7, p. 1688–1703, 1985. ISSN 0270-6474.

FLORINDO, A. A. et al. Methodology to evaluation the habitual physical activity in men aged 50 years or more. **Revista de saude publica**, v. 38, n. 2, p. 307–314, 2004. ISSN 0034-8910.

GAGLIARDI, R. J. Acidente vascular cerebral ou acidente vascular encefálico? Qual a melhor nomenclatura? **Revista Neurociencias**, v. 18, n. 2, p. 131–132, 2010. ISSN 01043579.

GILES, M. F.; ROTHWELL, P. M. Measuring the prevalence of stroke. **Neuroepidemiology**, v. 30, n. 4, p. 205–206, 2008. ISSN 02515350.

HEILMAN, K. M.; VALENSTEIN, E.; WATSON, R. T. **Neglect and related disorders**. 2000. 463–470 p.

HOCOMA. Hocoma, 2017. Disponível em: <www.hocoma.com>. Acesso em: 30 nov. 2017.

JOHNSON, W. et al. Stroke: A global response is needed. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 94, n. 9, p. 634A–635A, 2016. ISSN 15640604.

KATZ, N. et al. Loewenstein Occupational Therapy Cognitive Assessment (LOTCA) battery for brain-injured patients: reliability and validity. **The American journal of occupational therapy. : official publication of the American Occupational Therapy Association**, v. 43, n. 3, p. 184–192, 1989. ISSN 02729490.

KERRIGAN, S. et al. Mental incapacity in patients undergoing neuro-oncologic treatment: A cross-sectional study. **Neurology**, v. 83, n. 6, p. 537–541, 2014. ISSN 1526632X.

KINECT 2. Microsoft, 2018. Disponível em: <www.microsoft.com>. Acesso em: 18 jan. 2018.

KNARR, B. A. et al. Changes in the activation and function of the ankle plantar flexor muscles due to gait retraining in chronic stroke survivors. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, v. 10, n. 1, p. 12, 2013. ISSN 1743-0003.

KREBS, H. I. et al. Rehabilitation robotics: Performance-based progressive robot-assisted therapy. **Autonomous Robots**, v. 15, n. 1, p. 7–20, 2003. ISSN 09295593.

KWAKKEL, G. et al. Effects of augmented exercise therapy time after stroke: A meta-analysis. In: **Stroke**. [S.l.: s.n.], 2004. v. 35, n. 11, p. 2529–2536. ISBN 1524-4628 (Electronic). ISSN 00392499.

LEAP Motion. LeapMotion, 2018. Disponível em: <www.leapmotion.com>. Acesso em: 18 jan. 2018.

MAKI, T. et al. Estudo de Confiabilidade da Aplicação da Escala de Fugl-Meyer no Brasil. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 10, n. 2, p. 177–183, 2006. ISSN 1413-3555.

MAUDUIT, C.; SÁRKÖZY, A. On finite pseudorandom binary sequences I: Measure of pseudorandomness, the Legendre symbol. **Acta Arithmetica**, v. 82, n. 4, p. 365–377, 1997. ISSN 00651036.

MICHMIZOS, K. P.; KREBS, H. I. Serious games for the pediatric anklebot. In: **Proceedings of the IEEE RAS and EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1710–1714. ISBN 9781457711992. ISSN 21551774.

MIOSHI, E. et al. The Addenbrooke's Cognitive Examination revised (ACE-R): A brief cognitive test battery for dementia screening. **International Journal of Geriatric Psychiatry**, v. 21, n. 11, p. 1078–1085, 2006. ISSN 08856230.

MORO, C. H. C. et al. **Manual de rotinas para atenção ao AVC**. [S.l.: s.n.], 2013. ISBN 9788533419988.

ORIGENS do Baralho. Copag, 2018. Disponível em: <<http://copag.com.br/tudo-sobre-baralhos/origens>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

PASQUAL, T. B. et al. Designing a Serious Game for Ankle Rehabilitation with Runtime Calibration. **2nd Workshop on Engineering in Medical Applications**, n. 2, 2016.

_____. Designing a Serious Game for Rehabilitation Aiming User Experience. In: **3rd International Conference on NeuroRehabilitation**. [S.l.]: 3rd ICNR, 2016. p. 2.

PASQUAL, T. B.; CAURIN, G. A. P.; SIQUEIRA, A. A. G. Serious game development for Ankle rehabilitation aiming at user experience. **Proceedings of the IEEE RAS and EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics**, v. 2016-July, p. 1007–1012, 2016. ISSN 21551774.

PIRES, F. A. et al. Robotic Platform for Telerehabilitation studies based on unity game engine. In: **SeGAH 2014 - IEEE 3rd International Conference on Serious Games and Applications for Health, Books of Proceedings**. [S.l.: s.n.], 2015. ISBN 9781479948239.

POHJASVAARA, T. et al. Clinical determinants of poststroke dementia. **Stroke; a journal of cerebral circulation**, v. 29, n. 1, p. 75–81, 1998. ISSN 0039-2499.

PORTAL Brasil. Governo do Brasil, 2014. Disponível em: <www.brasil.gov.br/saude/2012/04/acidente-vascular-cerebral-avc>. Acesso em: 01 nov. 2017.

RIBEIRO, A. J. M. **Desenvolvimento de um Sistema Mecatrônico Interativo para Auxiliar no Tratamento de Reabilitação de Crianças com Deficiência Motora nas Pernas**. 2004. 163 p.

RODRIGUES, A. R. et al. **Desenho técnico mecânico: Projeto e fabricação no desenvolvimento de produtos industriais**. São Paulo: Elsevier – Campus, 2015. 512 p.

ROY, A. et al. Robot-aided neurorehabilitation: A novel robot for ankle rehabilitation. **IEEE Transactions on Robotics**, v. 25, n. 3, p. 569–582, 2009.

SANTOS, W. M. dos et al. Design and evaluation of a modular lower limb exoskeleton for rehabilitation. **2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)**, p. 447–451, 2017. ISSN 1945-7901 (Electronic). Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8009288/>>.

TORNATORE, J. B. et al. Self-administered screening for mild cognitive impairment: initial validation of a computerized test battery. **The Journal of neuropsychiatry and clinical neurosciences**, v. 17, n. 1, p. 98–105, 2005. ISSN 0895-0172. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1176/appi.neuropsych.17.1.98>>.

UNITY3D. Unity3D, 2017. Disponível em: <unity3d.com>. Acesso em: 13 nov. 2017.

VIRTUALWARE. Virtualware, 2016. Disponível em: <virtualwaregroup.com>. Acesso em: 18 jan. 2018.

W., S. M. B. B. R. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. **Physical therapy**, v. 67, n. 2, p. 206–7, 1987.

WADE, D. T. Measurement in neurological rehabilitation. **Current opinion in neurology and neurosurgery**, v. 5, n. 5, p. 682–686, 1992. ISSN 0028-3878.

WOLF, P. A. et al. Probability of stroke: a risk profile from the Framingham Study. **Stroke**, v. 22, n. 3, p. 312–318, 1991. ISSN 0039-2499. Disponível em: <<http://stroke.ahajournals.org/cgi/doi/10.1161/01.STR.22.3.312>>.

Apêndices

APÊNDICE A – PROJETO PARA COMITÊ DE ÉTICA PARA INDIVÍDUOS COM AVC

Este estudo será conduzido de acordo com as normas éticas e será submetido para apreciação de um comitê de ética através de Plataforma Brasil ¹.

A.1 Hipótese

A hipótese deste trabalho é que níveis funcionais e o escore do ACE-R apresentarão uma relação direta com o desempenho dos pacientes hemiparéticos durante o jogo proposto. Além disso, o jogo promoverá adaptações sensório-motoras imediatas que serão observadas nas análises dos dados métricos do jogo, como também durante do teste *Timed Get Up and Go* (TUG) dupla tarefa.

A.2 Objetivo

O objetivo principal desse trabalho é correlacionar o desempenho de indivíduos hemiparéticos e voluntários saudáveis em duas atividades diferentes que dependam de sua capacidade cognitiva e de seus níveis funcionais. De um lado, o desempenho do paciente no jogo proposto, e do outro lado, o desempenho no ACE-R e nos demais testes funcionais.

Considerando os movimentos repetitivos guiados pelo jogo, o objetivo secundário é avaliar alterações sensório-motoras da articulação do tornozelo com base em tarefas funcionais relacionadas ao equilíbrio e a deambulação. Além, disso comparar estes desempenhos de indivíduos hemiparéticos com voluntários saudáveis.

A.3 Recrutamento

Os indivíduos serão recrutados da comunidade local através de divulgações realizadas em veículos de comunicação como rádio, cartazes e panfletos através do texto de divulgação e recrutamento (Apêndice D).

A.4 Desenho de Estudo

Trata-se de um estudo transversal onde, inicialmente os indivíduos serão informados da natureza do estudo e convidados a participarem e, se aceitarem, deverão assinar o TCLE (Apêndices B e C) no momento de sua admissão e a autorização da publicação dos resultados obtidos. As identidades dos indivíduos serão preservada em qualquer forma de publicação e divulgação.

¹ Disponível em <http://plataformabrasil.saude.gov.br> dia 02/10/2017

Serão previstos 2 encontros com duração de uma hora cada. No primeiro dia uma visita domiciliar será agendada para a realização de uma triagem para o enquadramento critérios de inclusão e exclusão (seção A.6 e A.7). Caso o paciente seja excluído do estudo receberá a cartilha para exercícios domiciliares. Caso seja incluído, ele passará pela etapa de caracterização através de avaliações funcionais pelas escalas ACE-R, Equilíbrio de Berg, Índice de Desempenho de Fugl-Meyer e TUG (seção A.8). Em seguida será agendada uma visita ao Laboratório de Mecatrônica da EESC (USP) para o segundo dia.

Nesse segundo dia será realizado inicialmente uma sessão de familiarização, onde o paciente terá o primeiro contato com o equipamento e recursos que serão utilizados no estudo. Em seguida, realizará o teste definitivo (subseção A.8.8, Anklebot e jogo computacional). Também receberá as instruções de acordo com a cartilha de exercícios domiciliares.

A.5 Cálculo Amostral

Este é um estudo experimental onde 22 indivíduos farão parte do estudo, divididos em dois grupos denominados grupo hemiparético e grupo controle. O grupo hemiparético terá 11 indivíduos com hemiparesia crônica decorrente de AVC unilateral, de origem isquêmica, de quaisquer hemisférios, podendo ser de ambos os gêneros. Serão incluídos no grupo controle 11 indivíduos saudáveis, considerando o nível de atividade (não ser sedentário) e que não apresentam déficits cognitivos, que apresentem idade, nível de escolaridade e gênero pareados com o grupo hemiparéticos.

Para determinar o número de participantes inicial foi considerado um valor de *power* igual a 0.80 com um tamanho de efeito de 0.5. O tamanho será recalculado no decorrer do estudo. Será oferecido para o grupo controle um material educativo com objetivo de incentivar mudanças no estilo de vida, promovendo a prevenção do AVC.

A.6 Critério de Inclusão

Serão incluídos no estudo os indivíduos que apresentarem ocorrência do último episódio de AVC (único, unilateral e isquêmico) há mais de 6 meses (BAYS, 2001), sem mudanças documentadas no comprometimento motor ou sensorial; tônus muscular ou atividade reflexa nos 3 meses prévios à participação do indivíduo no estudo; nível de espasticidade igual ou inferior a 2 na Escala de Ashworth Modificada (W., 1987) para membros inferiores, permitindo aos indivíduos realizar o teste, 3 a 5 de acordo com a *Functional Ambulation Category* (FAC) (WADE, 1992). A FAC categoriza os indivíduos de acordo com as habilidades motoras básicas necessárias para realizar marcha. A pontuação é confiada ao indivíduo de acordo com a necessidade de suporte físico para a deambulação, sendo o escore zero correspondente à incapacidade ou ao maior nível de dependência para deambulação, e o escore cinco equivalente à independência nessa atividade. Esta

escala é aplicada facilmente, sem demandar tempo extra com o paciente. A articulação do tornozelo deve manter-se em posição neutra e sem deformidades. Os indivíduos deverão apresentar pontuação no ACE-R maior que 44, para garantir que sejam cognitivamente capazes (KERRIGAN et al., 2014). A faixa etária estará compreendida entre 18 e 70 anos.

Para a inclusão dos indivíduos saudáveis foi considerado um escore maior que 88 no teste ACE-R atestando que não apresentam déficit de cognição e escore maior que 8 no Questionário de Atividade Física Basal, indicando que os indivíduos não eram sedentários (BAECKE; BUREMA; FRIJTERS, 1982; FLORINDO et al., 2004). Esta escala investiga a atividade física basal dos últimos 12 meses. É composto por 16 questões divididas em três componentes: 1) atividades físicas ocupacionais (questões 1 a 8); 2) exercícios físicos praticados durante o tempo de lazer (questões 9 a 12); e 3) atividades físicas durante o tempo de lazer e atividades físicas de locomoção.

A.7 Critério de Exclusão

Serão excluídos do estudo quaisquer indivíduos (hemiparéticos e controle) que apresentem: doenças cardiovasculares graves (insuficiência cardíaca, arritmias ou angina pectoris); doenças reumatológicas; outras doenças ortopédicas ou neurológicas que comprometam a coleta de dados por meio do equipamento Anklebot e deficiências cognitivas ou de comunicação que impossibilitem a realização dos procedimentos; contraturas ou deformidades dolorosas no tornozelo parético; encurtamentos que impossibilitem a execução dos testes ou que promovam dor; apresentar a amplitude de movimento menor que 10 deg para dorsiflexão e 20 deg para flexão plantar conforme a goniometria; ataxia cerebelar; déficit sensorial definido pela perda de propriocepção do primeiro metatarso falangeana; negligência hemissensorial em exame neurológico; diversas desordens neurológicas; a participação em programas de reabilitação; relatos de dor durante os procedimentos será considerada critério de exclusão.

A.8 Procedimentos

A.8.1 Exame de Cognição de Addenbrooke Revisado (ACE-R)

Conta com uma bateria de exames a fim de avaliar seis domínios cognitivos, cada qual com sua pontuação, totalizando em 100 pontos. Esses seis domínios são: Orientação e Atenção, Memória, Fluência Verbal, Linguagem e Visual-Espacial.

Grupo aplicado: Hemiparético e Controle.

Etapas de aplicação: Triagem e Caracterização.

Tempo de aplicação: Aproximadamente 20 minutos.

A.8.2 Escala de Ashworth Modificada

É a escala mais amplamente utilizada na avaliação da espasticidade. A movimentação passiva da extremidade é realizada avaliando o momento da amplitude articular em que surge a resistência ao movimento, considerando o escore zero como nenhum aumento do tônus muscular e o escore 4 como maior grau de espasticidade, o paciente apresenta rigidez em flexão ou extensão.

Grupo aplicado: Hemiparético.

Etapas de aplicação: Triagem.

Tempo de aplicação: Poucos minutos.

A.8.3 Functional Ambulation Category (FAC)

Categoriza os indivíduos de acordo com as habilidades motoras básicas necessárias para realizar marcha. A pontuação é confiada ao indivíduo de acordo com a necessidade de suporte físico para a deambulação, sendo o escore zero correspondente à incapacidade ou ao maior nível de dependência para deambulação, e o escore cinco equivalente à independência nessa atividade.

Grupo aplicado: Hemiparético.

Etapas de aplicação: Triagem.

Tempo de aplicação: Poucos minutos.

A.8.4 Escala de Equilíbrio de Berg

Compreende uma escala de 14 tarefas relacionadas ao dia-a-dia, que envolvem o equilíbrio estático e dinâmico, tais como alcançar, girar, transferir-se, permanecer em pé e levantar-se. Os itens avaliados incluem a habilidade do indivíduo em manter posições de crescente dificuldade, com a diminuição da base de suporte para sentar, até postura confortável, ficar em pé com os pés juntos, e por final, postura em tandem (isto é, com um pé à frente do outro), e postura em uma única perna, os dois itens mais difíceis. A realização das tarefas é avaliada através da observação e a pontuação varia de 0 à 4 em cada tarefa, totalizando um máximo de 56 pontos. Escores menores ou igual a 44 indicam aumento de quedas para indivíduos hemiparéticos (BLUM; KORNER-BITENSKY, 2008).

Grupo aplicado: Hemiparético e Controle.

Etapas de aplicação: Caracterização.

Tempo de aplicação: Aproximadamente de 10 minutos.

A.8.5 Índice de Desempenho Motor de Fugl-Meyer

Designada especificamente como avaliativa da recuperação do paciente hemiplégico. É dividida em cinco domínios: função motora, sensibilidade, equilíbrio, amplitude de movimento e dor. O domínio da função motora inclui mensuração do movimento, coordenação e atividade reflexa de ombro, cotovelo, punho, mão, quadril e tornozelo, totalizando 100 pontos.

Grupo aplicado: Hemiparético.

Etapas de aplicação: Caracterização.

Tempo de aplicação: Aproximadamente de 30 minutos.

A.8.6 Timed Get Up and Go (TUG) - Tarefa Dupla

Avalia o equilíbrio sentado, as transferências de sentado para a posição em pé, a estabilidade na deambulação e mudanças do curso da marcha sem utilizar estratégias compensatórias. Este teste pode ser realizado de forma simples, associado à tarefa cognitiva ou associado à tarefa motora e o tempo de execução dos mesmos é mensurado por meio de um cronômetro. O teste será realizado em três repetições prevendo um minuto de repouso entre elas.

Grupo aplicado: Hemiparético e Controle.

Etapas de aplicação: Caracterização.

Tempo de aplicação: Aproximadamente 6 minutos.

A.8.7 Questionário de Atividade Física Basal

Investiga a atividade física basal dos últimos 12 meses. É composto por 16 questões divididas em três componentes: 1) atividades físicas ocupacionais (questões 1 a 8); 2) exercícios físicos praticados durante o tempo de lazer (questões 9 a 12); e 3) atividades físicas durante o tempo de lazer e atividades físicas de locomoção.

Grupo aplicado: Controle.

Etapas de aplicação: Triagem.

Tempo de aplicação: Aproximadamente 5 minutos.

A.8.8 Jogo computacional com Anklebot

O dispositivo robótico conta com um apoio para o mecanismo que é amarrado na coxa do indivíduo com cinta de velcro e um sapato especial que é fixado a extremidade dos atuadores do robô (ROY et al., 2009). O robô é então fixado a uma cadeira especial, em que o paciente estará sentado, garantido que o seu peso não seja sentido pelo indivíduo.

Após isso o indivíduo está pronto para jogar uma partida de familiarização e em seguida a partida definitiva.

O jogo consiste em apresentar uma carta objetivo (ao centro da tela) e um certo número de cartas desafio (ao redor da carta objetivo). O paciente deve encontrar dentre as cartas desafio a carta idêntica a carta objetivo. O paciente realiza as escolhas através da movimentação do tornozelo equipado com o Anklebot.

Grupo aplicado: Hemiparético e Controle.

Etapas de aplicação: Caracterização.

Tempo de aplicação: Entre 5 e 10 minutos para instalação, 5 minutos da partida de familiarização e 25 minutos da partida definitiva. Total de 35 a 40 minutos.

A.9 Análise de Dados

Análise dos movimentos do paciente nas tomadas de decisões, tal como posição e velocidade, dos tempos de tomada de decisão e número de acertos em relação a cada desafio proposto pelo jogo para o trabalho de correlação com o ACE-R, através de ferramentas matemáticas (MATLAB[®], Mathematica[®]).

O poder do estudo será recalculado para todas as variáveis (poder > 0.80 em todos os casos) utilizando o software GPower[®]. Para a análise estatística, serão aplicados os testes de normalidade (teste de Shapiro Wilk's) e homogeneidade (teste de Levene). Se as variáveis tiverem uma distribuição considerada normal e homogênea, serão aplicados os testes paramétricos Teste T Student para amostras independentes ou Mann-Whitney, caso os dados apresentem distribuição não paramétrica para comparações entre grupos (controle e hemiparético).

O resultado do TUG pré-terapia será comparados com o pós e será utilizado o teste Anova-one-way para medidas repetidas (dados paramétricos) ou Mann-Whitney (dados não paramétricos). Será considerado o nível de significância de 0.05, com um Intervalo de Confiança (IC) de 95% para todos os testes estatísticos, que serão realizadas no programa SPSS[®] (versão 10.0).

A.10 Riscos

Este estudo oferece baixo risco para os participantes. Medidas de segurança e estabilidade serão disponibilizadas considerando déficits de equilíbrio ou dificuldades para o deslocamento, ou nível funcional adequado para realização de alguma tarefa, considerando que os riscos previstos aqui, estão relacionados a estes déficits e características apresentados pela população estudada, como por exemplo, uma ocorrência de queda da própria altura. O que for necessário para que o paciente tenha segurança e conforto será realizado. Serão

providenciados sempre uma cadeira e um fisioterapeuta experiente que estará atento e em prontidão durante todas as tarefas que poderão ser desempenhadas com suporte de órteses, caso você as utilize. O protocolo será realizado em posição sentada. Caso ocorra alguma eventualidade qualquer procedimento, o SAMU será acionado imediatamente.

Apesar dos procedimentos não promoverem riscos a estabilidade hemodinâmica do paciente, este será cuidadosamente monitorado quanto à frequência cardíaca e a pressão arterial. Caso haja algum relato de dor, fadiga, desconforto ou seja identificado desestabilização dos sinais vitais (hipertensão arterial e batimentos cardíacos) o procedimento será interrompido. Se necessário, o indivíduo será encaminhado para uma unidade de saúde mais próxima.

A.11 Benefícios

Dentre os benefícios que este estudo promove está o acesso à avaliação minuciosa e de alto custo e tecnologia. Será oferecido material educativo com objetivo de promover alterações na qualidade de vida através de incentivo à prevenção do AVE. Serão oferecidas orientações para o cuidado do paciente neurológico.

A principal e mais importante contrapartida para o participante será o convite para participar do programa terapêutico que incentiva o auto-cuidado. Será colocado a disposição do paciente uma cartilha de instruções para exercícios domiciliares. Com esta ferramenta é possível realizarmos um treinamento para fisioterapia domiciliar, que contará com supervisões do fisioterapeuta e estará prevista uma visita de retorno caso seja necessário ou solicitado. Além disso, o paciente poderá concordar, ou não, com a inclusão do seu nome em uma lista de voluntários participantes do laboratório e poderá ser eleito a participar de muitos outros estudos clínicos com proposta de terapia continuada, e projetos de extensão que serão desenvolvidos pelo nosso grupo de pesquisa. Ainda, há os efeitos que um protocolo de alta repetição pode promover para esta população.

A.12 Resultado Esperado

O resultado deste trabalho terá uma grande importância, pois estamos dando um passo importante para a elaboração de uma ferramenta tecnológica, desenvolvida no nosso país. Estima-se que proporcione uma contribuição para profissionais da saúde, uma vez que este recurso terapêutico que estará sendo desenvolvendo neste projeto poderá ser utilizado para complementação da avaliação clínica, contribuindo com registros da evolução do paciente durante o processo terapêutico. Além disso, poderá ser um instrumento que potencialmente fará parte de um protocolo de reabilitação continuada. Este jogo poderá ser associado com outros recursos e com outros tipos de abordagens clínicas. Ainda, esta ferramenta proposta (o jogo) abrangerá não só a reabilitação sensório-motora, como também a cognitiva.

APÊNDICE B – TCLE - GRUPO CONTROLE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

1. Você está sendo convidado para participar da pesquisa “Desenvolvimento de um jogo para reabilitação de pessoas que sofreram AVC, baseado no exame de cognição ACE-R”.

2. Agradecemos por atender a uma chamada/convite divulgado por algum meio de comunicação, e sua participação não é obrigatória.

3. O objetivo desse estudo é coletar dados de desempenho no jogo em desenvolvimento para pessoas que sofreram AVC e correlacioná-los com o Exame Cognitivo de Addenbrooke Revisado (ACE-R) aplicado na mesma pessoa.

4. Sua participação nesta pesquisa consistirá em 2 encontros (1) avaliação clínica (controle motor, equilíbrio, funcionalidade e nível de cognição) e o enquadramento nos critérios de inclusão deste estudo, cartilha de orientações para incentivo a atividade física e prevenção do AVC; (2a) caso se enquadre nesses critérios, você fará avaliação com um exoesqueleto de tornozelo acompanhado por jogo computacional de 30 a 40 minutos de terapia robótica (você irá jogar um jogo) e receberá orientações para incentivo a atividade física e prevenção do AVC ; (2b) caso não se enquadre, você receberá orientações para incentivo a atividade física e prevenção do AVC. Também poderá optar por ser incluído na lista de voluntários para ser contatado em futuros projetos.

5. Todos os procedimentos clínicos (triagem, testes e aplicação de cartilha) serão realizados por fisioterapeuta experiente e qualificado.

6. Quaisquer dúvidas a respeito dos procedimentos e da sua participação na pesquisa serão esclarecidas antes e durante o curso de pesquisa pelo pesquisador responsável, identificado no fim deste texto;

7. A qualquer momento você pode desistir de participar e retirar seu consentimento, sendo que isso não trará nenhuma penalização ou prejuízo em sua relação com o pesquisador ou com a instituição;

8. As informações obtidas através dessa pesquisa serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre sua participação. Os dados serão divulgados de forma a não possibilitar sua identificação, sendo que os arquivos gerados no processo de avaliação serão identificados a partir de uma numeração.

9. Este estudo oferece baixo risco para os participantes. Medidas de segurança e estabilidade serão disponibilizadas considerando déficits de equilíbrio ou dificuldades para

o deslocamento, ou nível funcional adequado para realização de alguma tarefa. O que for necessário para que você tenha segurança e conforto será realizado. Serão providenciados sempre uma cadeira e um fisioterapeuta experiente que estará atento e em prontidão durante todas as tarefas que poderão ser desempenhadas com suporte de órteses, caso você as utilize. O protocolo será realizado em posição sentada. Caso ocorra alguma eventualidade qualquer procedimento, o SAMU será acionado imediatamente.

10. Apesar dos procedimentos não promoverem riscos a sua saúde e integridade, você será cuidadosamente monitorado quanto à frequência cardíaca e a pressão arterial. Caso haja algum relato de dor, fadiga, desconforto ou seja identificado desestabilização dos sinais vitais (hipertensão arterial e batimentos cardíacos) o procedimento será interrompido. Se necessário, você será encaminhado para uma unidade de saúde mais próxima.

11. Nossa principal e mais importante contrapartida para o participante está na aplicação do recurso que oferecemos (cartilha de instruções para exercícios domiciliares). Com esta ferramenta é possível incentivar os participantes a prática do auto-cuidado e prevenção de doenças relacionadas ao sedentarismo.

12. Você será isento(a) de qualquer despesa que envolva a sua participação nesta pesquisa como transporte e alimentação e não haverá compensação financeira pela participação. Caso tenha dificuldades na utilização de transporte público, nós disponibilizaremos um transporte particular que irá buscá-lo e levá-lo até sua residência. Você terá direito a indenização por qualquer dano resultante de sua participação.

13. Você receberá uma via assinada e rubricada pelo pesquisador e participante da pesquisa deste termo onde consta o telefone e o endereço do pesquisador principal, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento.

Thales Bueno Pasqual

Av. Trab. São-Carlense, 400 - Parque Arnold Schmidt, São Carlos - SP, 13566-590
Fone: 3351-9578 Pesquisadores responsáveis: Prof.: Adriano A. G. Siqueira e Marcela de A. S. Couto

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa e concordo em participar.

O pesquisador me informou que o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da UFSCar que funciona na Pró-reitoria de pós-graduação e Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, localizada na Rodovia Wshington Luiz

Km. 235- Caixa Postal 676- CEP 13.565-905- São Carlos-SP-Brasil. Fone (19) 3351-8110.
Endereço eletrônico cephumanos@power.ufscar.br

São Carlos _____ de _____ de _____.

Nome do Participante da pesquisa _____

Assinatura do participante _____

APÊNDICE C – TCLE - GRUPO HEMIPARÉTICO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

1. Você está sendo convidado para participar da pesquisa “Desenvolvimento de um jogo para reabilitação de pessoas que sofreram AVC, baseado no exame de cognição ACE-R”.

2. Agradecemos por atender a uma chamada/convite divulgado por algum meio de comunicação, e sua participação não é obrigatória.

3. O objetivo desse estudo é coletar dados de desempenho no jogo em desenvolvimento para pessoas que sofreram AVC e correlacioná-los com o Exame Cognitivo de Addenbrooke Revisado (ACE-R) aplicado na mesma pessoa.

4. Sua participação nesta pesquisa consistirá em 2 encontros (1) avaliação clínica (controle motor, equilíbrio, funcionalidade e nível de cognição), o enquadramento nos critérios de inclusão deste estudo e orientações para exercícios físicos; (2a) caso se enquadre nesses critérios, você fará avaliação com um exoesqueleto de tornozelo acompanhado por jogo computacional de 30 a 40 minutos de terapia robótica (você irá jogar um jogo) e você receberá uma cartilha para participação de um programa de terapia domiciliar.; (2b) caso não se enquadre, você receberá uma cartilha para participação de um programa de terapia domiciliar. Caso tenha dúvidas ou precise de auxílio em relação à terapia domiciliar apresentada por meio da cartilha você poderá solicitar visitas do fisioterapeuta vinculado ao projeto. Também poderá optar por ser incluído na lista de voluntários para ser contatado em futuros projetos.

5. Todos os procedimentos clínicos (triagem, testes e aplicação de cartilha) serão realizados por fisioterapeuta experiente e qualificado.

6. Quaisquer dúvidas a respeito dos procedimentos e da sua participação na pesquisa serão esclarecidas antes e durante o curso de pesquisa pelo pesquisador responsável, identificado no fim deste texto;

7. A qualquer momento você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento, sendo que isso não trará nenhuma penalização ou prejuízo em sua relação com o pesquisador ou com a instituição;

8. As informações obtidas através dessa pesquisa serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre sua participação. Os dados serão divulgados de forma a não possibilitar sua identificação, sendo que os arquivos gerados no processo de avaliação serão identificados a partir de uma numeração.

9. Este estudo oferece baixo risco para os participantes. Medidas de segurança e estabilidade serão disponibilizadas considerando déficits de equilíbrio ou dificuldades para o deslocamento, ou nível funcional adequado para realização de alguma tarefa. O que for necessário para que você tenha segurança e conforto será realizado. Serão providenciados sempre uma cadeira e um fisioterapeuta experiente que estará atento e em prontidão durante todas as tarefas que poderão ser desempenhadas com suporte de órteses, caso você as utilize. O protocolo será realizado em posição sentada. Caso ocorra alguma eventualidade qualquer procedimento, o SAMU será acionado imediatamente.

10. Apesar dos procedimentos não promoverem riscos a sua saúde e integridade, você será cuidadosamente monitorado quanto à frequência cardíaca e a pressão arterial. Caso haja algum relato de dor, fadiga, desconforto ou seja identificado desestabilização dos sinais vitais (hipertensão arterial e batimentos cardíacos) o procedimento será interrompido. Se necessário, você será encaminhado para uma unidade de saúde mais próxima.

11. Dentre os benefícios que este estudo promove está o acesso à avaliação minuciosa e de alta tecnologia. Nossa principal contrapartida para o participante está na aplicação do recurso que oferecemos (Cartilha de instruções para exercícios domiciliares). Com esta ferramenta é possível incentivar os pacientes a prática do auto-cuidado e realizamos um treinamento domiciliar e se necessário, o fisioterapeuta poderá ser solicitado para sanar dúvidas ou oferecer uma visita adicional para acompanhamento da execução da proposta da cartilha. Além disso, você poderá concordar ou não, com a inclusão do seu nome em uma lista de voluntários participantes do laboratório e poderá ser eleito a participar de muitos outros estudos clínicos com proposta de terapia continuada, e projetos de extensão que serão desenvolvidos pelo nosso grupo de pesquisa. Ainda, há os efeitos que um protocolo de alta repetição pode promover para esta população.

12. Você será isento(a) de qualquer despesa que envolva a sua participação nesta pesquisa como transporte e alimentação e não haverá compensação financeira pela participação. Caso tenha dificuldades na utilização de transporte público, nós disponibilizaremos um transporte particular que irá buscá-lo e levá-lo até sua residência. Você terá direito a indenização por qualquer dano resultante de sua participação.

13. Você receberá uma via assinada e rubricada pelo pesquisador e participante da pesquisa deste termo onde consta o telefone e o endereço do pesquisador principal, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento.

Thales Bueno Pasqual

S. Couto

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa e concordo em participar.

O pesquisador me informou que o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da UFSCar que funciona na Pró-reitoria de pós-graduação e Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, localizada na Rodovia Wshington Luiz Km. 235- Caixa Postal 676- CEP 13.565-905- São Carlos-SP-Brasil. Fone (19) 3351-8110. Endereço eletrônico cephumanos@power.ufscar.br

São Carlos _____ de _____ de _____.

Nome do Participante da pesquisa _____

Assinatura do participante _____

APÊNDICE D – TEXTO DE DIVULGAÇÃO E RECRUTAMENTO

Chamada para os voluntários:

O Laboratório de Mecatrônica da USP em parceria com o Departamento de Fisioterapia da UFSCar está desenvolvendo um jogo de reabilitação voltado para pessoas que sofreram AVC (derrame) e está recrutando pessoas interessadas em participar dos primeiros testes.

Se você sofreu ou conhece alguém que sofreu AVC há mais de 6 meses e que gostaria de se voluntariar para essa pesquisa, entre em contato através dos contatos no final desse texto. Não haverá absolutamente nenhum custo e todas as despesas envolvidas serão ressarcidas. Caso você não tenha sofrido AVC e tenha interesse em participar você também tem a oportunidade, entre em contato conosco.

Telefone: 16 991932926 (Fisioterapeuta Marcela) ou 16 999627115 (Engenheiro Thales)

E-mail: marcela.deabreu5@gmail.com; thales.bueno@usp.br

APÊNDICE E – NOVO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO

Analisando ambas as Equações 5.7 e 5.8 é possível observar que, uma vez que o movimento chega a um extremo como, por exemplo, $x_{max} < x_i$, o seu outro extremo (x_{min}) se mantém intacto e a elipse se ajusta, conforme ilustrado na Figura 21b.

Para o movimento composto, pode-se partir do mesmo princípio, ou seja, o movimento estará atingindo um novo extremo quando a posição ${}_e\vec{P}_i$ estiver numa elipse com dimensões maiores que a elipse base (Equação E.1).

$$\frac{a_i}{a_b} = \frac{b_i}{b_b} = \frac{r_i}{r_b} > 1 \quad (\text{E.1})$$

Onde r_i é a base relativa da posição atual na base normalizada r_b , conforme descrito por Pasqual et al. (2016a). Sabendo que a elipse possui simetria em torno do ponto $\vec{O} = (h, k)$ e, pela Equação 5.1, é obtido pela Equação E.2 o ponto fixo ${}_e\vec{P}_j$, simétrico ao novo extremo e sobre a elipse base atual (Figura 67).

Figura 67: Região de nova calibração pelo método proposto por Pasqual et al. (2016b).
Fonte: Próprio autor.

$${}_e\vec{P}_j = \begin{cases} {}_ex_j = h - a_b \cos \alpha_i \\ {}_ey_j = k - b_b \sin \alpha_i \end{cases} \quad (\text{E.2})$$

Deseja-se que tanto o ponto ${}_e\vec{P}_i$ quanto o ${}_e\vec{P}_j$ defina uma nova elipse base com centro $\vec{O}' = (h', k')$ e bases a'_b e b'_b , sendo então descritos pelas Equações E.3 e E.4.

$${}_e\vec{P}_i = \begin{cases} {}_ex_i = h' + a'_b \cos \alpha'_i \\ {}_ey_i = k' + b'_b \sin \alpha'_i \end{cases} \quad (\text{E.3})$$

$${}_e\vec{P}_j = \begin{cases} {}_ex_j = h' - a'_b \cos \alpha'_i \\ {}_ey_j = k' - b'_b \sin \alpha'_i \end{cases} \quad (\text{E.4})$$

Obtendo-se assim o novo ponto $\vec{O}' = (h', k')$ pela soma das Equações E.3 e E.4 divididas por 2, conforme a Equação E.5.

$$\vec{O}' = \frac{\vec{P}_i + \vec{P}_j}{2} = (h', k') \quad (\text{E.5})$$

É possível observar que a nova elipse é determinada por duas equações (E.3 e E.4) e três incógnitas (a'_b , b'_b e α'_i), permitindo então descrever infinitas elipses que passam pelos pontos ${}_e\vec{P}_i$ e ${}_e\vec{P}_j$ com centro em $\vec{O}'$, portanto precisa-se determinar como se deseja que essa mudança das bases ocorra. Uma vez que a calibração ocorre baseada na Equação E.1, é possível assumir para as bases a'_b e b'_b que:

$$\begin{cases} a'_b = fa(\alpha) + a_b \geq a_b \rightarrow fa(\alpha) \geq 0 \\ b'_b = fb(\alpha) + b_b \geq b_b \rightarrow fb(\alpha) \geq 0 \end{cases} \quad (\text{E.6})$$

Onde fa e fb são funções em função de α . Analisando as Equações 5.7 e 5.8, os valores de a_b só são redefinidos com valores de x , sem alterar b_b e este por sua vez, só é redefinido com valores de y , sem alterar a_b . Para obter um comportamento semelhantes, deseja-se que, ao exceder os limites da elipse no eixo horizontal da elipse, apenas o valor de a_b seja reajustado e, analogamente no eixo vertical, apenas o valor de b_b .

Note então que, para esse comportamento, a relação da Equação 5.3 não precisa necessariamente se manter. Será assumido ainda que, num movimento composto em que $|\cos \alpha_i| = |\sin \alpha_i|$, a relação da Equação E.1 seja mantida, para favorecer a calibração de ambas as bases. Dessa forma são apresentadas três relações desejáveis:

$$\begin{cases} se \cos \alpha_i = 0 \rightarrow fa(\alpha_i) = 0 \\ se \sin \alpha_i = 0 \rightarrow fb(\alpha_i) = 0 \\ se |\cos \alpha_i| = |\sin \alpha_i| \rightarrow b_b fa(\alpha_i) = a_b fb(\alpha_i) \end{cases} \quad (\text{E.7})$$

Não há o interesse neste momento em encontrar uma solução geral, apenas uma solução que se enquadre nas relações estabelecidas na Equação E.7. Portanto será assumido arbitrariamente que as funções fa e fb sejam definidas por:

$$\begin{cases} fa(\alpha_i) = a_b f_r \cos^2 \alpha_i \\ fb(\alpha_i) = b_b f_r \sin^2 \alpha_i \end{cases} \quad (\text{E.8})$$

Que satisfazem as relações estabelecidas na Equação E.7. Sendo f_r é uma função a ser definida, substitui-se a_i e b_i por a'_b e b'_b na Equação E.1 normalizada ($r_b = 1$), para a terceira relação da Função E.7 ($|\cos \alpha_i| = |\sin \alpha_i| = \frac{\sqrt{2}}{2}$), obtém-se assim f_r :

$$f_r = 2(r_i - 1) \quad (\text{E.9})$$

Obtendo assim uma nova definição para os valores de a'_b e b'_b :

$$\begin{cases} a'_b = 2a_b(r_i - 1) \cos^2 \alpha_i + a_b \\ b'_b = 2b_b(r_i - 1) \sin^2 \alpha_i + b_b \end{cases} \quad (\text{E.10})$$

Isolando a variável α'_i em uma das coordenadas da Equação E.3 e substituindo na outra coordenada, a relação entre as bases a'_b e b'_b são obtidas pela Equação E.11.

$$\frac{(x_i - h')^2}{a'^2_b} + \frac{(y_i - k')^2}{b'^2_b} = 1 \quad (\text{E.11})$$

Novamente, este desenvolvimento não visa encontrar uma solução geral, portanto não será provado aqui que os valores das Equações E.10 satisfazem ou não a Equação E.11, ao invés disso, para garantir as relações da Equação E.7 será utilizado os critérios a seguir: para valores de $|\cos \alpha_i| < |\sin \alpha_i|$, a'_b será definido pela Equação E.10 e seguidamente b'_b pela Equação E.11; quando $|\cos \alpha_i| \geq |\sin \alpha_i|$, b'_b será definido pela Equação E.10 e seguidamente a'_b pela Equação E.11. Obtendo assim uma nova calibração em tempo de execução que leva em consideração um movimento composto (fora da elipse base) para a nova calibração, não somente sobre os eixos (x e y).

Os primeiros testes foram realizados com origem inicial da elipse na origem ($\vec{O} = (h, k) = (0, 0)$) e pequenos valores para as bases ($a_b = 0.1$ e $b_b = 0.1$). Inicialmente o algoritmo não se mostrou eficiente em cobrir o EM do tornozelo (Figura 68a). Isso ocorre devido ao ponto de referência utilizado para escalar a elipse (Equação E.2).

Toma-se esse ponto pois assume-se que a elipse base já está próximo do envelope de movimento, o que não é correto nas primeiras etapas de calibração. Em contrapartida, o primeiro método não se baseia na elipse base atual para sua calibração e sim no histórico de movimentos máximos e mínimos, por isso independe dos valores iniciais de calibração, desde que sejam valores pequenos.

Para solucionar esse problema basta utilizar o primeiro método como uma pré-calibração, a fim de obter uma elipse base próxima do envelope de movimento e, em seguida, utilizar o método de calibração proposto. Dessa forma o novo método mostrou maior eficiência para cobrir o EM que o primeiro método não cobria (Figura 68b).

(a) Resultado do método proposto.

(b) Fusão do método proposto com o método anterior.

Figura 68: Segundo método de calibração proposto. Fonte: Próprio autor.

Pode-se ver nos resultados parciais apresentados por Pasqual et al. (2016b) que nenhum dos métodos de calibração individualmente conseguem cobrir todo o EM, porém, eles se complementam, oferecendo assim uma ferramenta de calibração em tempo de execução ótima para análise de movimento do tornozelo operando o mecanismo de reabilitação.

APÊNDICE F – HIERARQUIA DE CLASSES

Figura 69: Hierarquia de Classes do Projeto em C#. Fonte: Próprio autor.

Quadro 1: Funções das Classes

AnkleMovement	Responsável pelas conversões e gestão do movimento do tornozelo.
Card	Gerencia o comportamento e a informação das cartas individualmente.
ChallengeManager	Gerencia os desafios
Choice	Representa uma única escolha de um jogador
Connection	Estabelece a conexão
ControlManager	Controla a interface entre o jogo e o jogador
ControlPanel	Gerencia o painel de controle
Dealer	Gerencia a criação e organização de cartas no jogo
Exit	Sai do jogo
GameBase	Funciona como base comum para a maioria das classes do jogo
HideShow	Esta classe é usada para ocultar e mostrar um objeto 2D na cena
Info	Informações sobre um usuário
InterfaceManager	Gerencia a interface geral
Logger	Registra tudo no jogo
MiniMap	Gerencia o mini mapa
Motion	Controla o movimento de um elemento Vector3 ao longo do tempo
NetworkClient	Classe base para comunicação via sockets
NetworkClientTCP	Gerar um cliente de rede TCP
ResultsPanel	Gerencia o painel de resultados
RobotCursor	Gerencia o cursor do robô
Singleton	Singleton funciona como uma classe estática
UserManager	Responsável por gerenciar o login
UserPanel	Gerencia o painel do usuário

APÊNDICE G – INFORMAÇÕES DOS INDIVÍDUOS

Quadro 2: Níveis de Escolaridade

1	Fundamental Incompleto
2	Fundamental Completo
3	Médio Incompleto
4	Médio Completo
5	Superior Incompleto
6	Superior Completo
7	Pós-graduação (Lato sensu) - Incompleto
8	Pós-graduação (Lato sensu) - Completo
9	Pós-graduação (Stricto sensu, nível mestrado) - Incompleto
10	Pós-graduação (Stricto sensu, nível mestrado) - Completo
11	Pós-graduação (Stricto sensu, nível doutor) - Incompleto
12	Pós-graduação (Stricto sensu, nível doutor) - Completo

Tabela 10: Informações dos indivíduos de 1 a 8

Numeração do Indivíduo	1	2	3	4	5	6	7	8
Idade	23	21	26	26	27	23	23	21
Qual sua familiaridade com jogos virtuais? 1 - Pouca / 5 - Muita	4	4	5	5	5	5	5	5
Qual sua familiaridade com jogos de carta? 1 - Pouca / 5 - Muita	3	4	5	5	5	3	2	2
O que achou da interface do jogo? 1 - Ruim / 5 - Ótima	4	5	5	4	5	5	5	5
O que achou dos efeitos sonoros do jogo? 1 - Ruim / 5 - Ótimos	5	5	3	5	4	5	4	5
O que achou da música do jogo? 1 - Ruim / 5 - Ótima	4	5	3	4	3	5	3	5
O que achou do tempo de jogo? 1 - Ruim / 5 - Ótimo	4	4	4	2	4	5	5	5
O que achou da dificuldade de vestir o equipamento? 1 - Muito difícil / 5 - Pouco difícil	2	4	3	3	2	3	3	4
O que achou da jogabilidade do JOGO? 1 - Ruim / 5 - Ótima	4	5	5	3	4	5	4	5
O que achou da jogabilidade do ROBÔ? 1 - Ruim / 5 - Ótima	3	4	3	2	3	2	4	5
Quão cansativo você achou jogar? 1 - Pouco / 5 - Muito cansativo	1	3	4	4	2	3	4	2
Como foi a experiência de forma geral? 1 - Péssima / 5 - Ótima experiência	4	5	5	5	4	4	4	5
Quanto você calça?	42	41	40	42	44	36	39	36
Destro ou canhoto?	C	D	D	D	D	D	D	D
Qual sua altura? (m)	1.78	1.75	1.75	1.77	1.88	1.62	1.69	1.6
Grau de Escolaridade (Tab. 2)	9	5	11	11	9	5	9	5

Tabela 11: Informações dos indivíduos de 9 a 16

Numeração do Indivíduo	9	10	11	12	13	14	15	16
Idade	23	24	22	23	26	23	46	22
Qual sua familiaridade com jogos virtuais? 1 - Pouca / 5 - Muita	5	1	5	5	4	5	3	4
Qual sua familiaridade com jogos de carta? 1 - Pouca / 5 - Muita	3	2	5	4	4	4	3	2
O que achou da interface do jogo? 1 - Ruim / 5 - Ótima	4	5	5	5	4	5	5	5
O que achou dos efeitos sonoros do jogo? 1 - Ruim / 5 - Ótimos	5	5	5	5	4	5	5	5
O que achou da música do jogo? 1 - Ruim / 5 - Ótima	4	5	5	4	3	4	4	5
O que achou do tempo de jogo? 1 - Ruim / 5 - Ótimo	5	4	4	2	4	5	3	5
O que achou da dificuldade de vestir o equipamento? 1 - Muito difícil / 5 - Pouco difícil	5	4	4	5	3	2	4	5
O que achou da jogabilidade do JOGO? 1 - Ruim / 5 - Ótima	5	5	4	5	4	5	5	4
O que achou da jogabilidade do ROBÔ? 1 - Ruim / 5 - Ótima	5	5	3	2	3	3	1	4
Quão cansativo você achou jogar? 1 - Pouco / 5 - Muito cansativo	2	2	4	3	2	3	3	2
Como foi a experiência de forma geral? 1 - Péssima / 5 - Ótima experiência	5	5	5	4	4	5	4	5
Quanto você calça?	41	35	42	41	41	40	38	42
Destro ou canhoto?	D	D	D	D	D	D	D	D
Qual sua altura? (m)	1.75	1.59	1.77	1.74	1.77	1.8	1.78	1.72
Grau de Escolaridade (Tab. 2)	6	4	5	6	9	5	11	5

APÊNDICE H – ESTUDO DO MOVIMENTO DOS INDIVÍDUOS

Figura 70: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 1. Fonte: Próprio autor.

Figura 71: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 2. Fonte: Próprio autor.

Figura 72: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 3. Fonte: Próprio autor.

Figura 73: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 4. Fonte: Próprio autor.

Figura 74: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 5. Fonte: Próprio autor.

Figura 75: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 6. Fonte: Próprio autor.

Figura 76: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 7. Fonte: Próprio autor.

Figura 77: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 9. Fonte: Próprio autor.

Figura 78: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 10. Fonte: Próprio autor.

Figura 79: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 11. Fonte: Próprio autor.

Figura 80: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 12. Fonte: Próprio autor.

Figura 81: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 13. Fonte: Próprio autor.

Figura 82: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 14. Fonte: Próprio autor.

Figura 83: Envelope de movimento e área de trabalho na esquerda; Índice de Alcance e Tempo para Escolher a direita do indivíduo 15. Fonte: Próprio autor.

APÊNDICE I – DESEMPENHO NOS MODOS DE JOGO VERSUS ACE-R

Figura 84: Tempo para Jogar versus ACE-R por Modo de Jogo. Fonte: Próprio autor.

Figura 85: Tempo para Reagir versus ACE-R por Modo de Jogo. Fonte: Próprio autor.

Figura 86: Tempo para Escolher versus ACE-R por Modo de Jogo. Fonte: Próprio autor.

Anexos

ANEXO A – MEDIDA DE INDEPENDÊNCIA FUNCIONAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ SETOR DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DEPARTAMENTO DE TERAPIA OCUPACIONAL
---	---	---

MEDIDA DE INDEPENDÊNCIA FUNCIONAL

N Í V E I S	Independente 7 – Independência completa (Com segurança e tempo normal) 6 – Independência modificada (Ajuda técnica)	SEM ASSISTÊNCIA			
	Dependência Modificada 5 – Supervisão 4 – Assistência Mínima (Sujeito ≥ 75%) 3 – Assistência Moderada (Sujeito ≥ 50%) Dependência Completa 2 – Assistência Máxima (Sujeito ≥ 25%) 1 – Assistência Total (Sujeito ≥ 10%)	COM ASSISTÊNCIA			
Avaliação	Atividades	1º Av.		2º Av.	3º Av.
	Autocuidado	Data	/ /	/ /	/ /
A.	Alimentação				
B.	Higiene pessoal: apresentação e aparência.				
C.	Banho: lavar o corpo				
D.	Vestir: metade superior do corpo				
E.	Vestir: metade inferior do corpo				
F.	Utilização do vaso sanitário				
	Controle dos esfíncteres				
G.	Controle da urina: frequência de incontinência				
H.	Controle das fezes				
	Mobilidade				
I.	Transferências: leito, cadeira, cadeira de rodas				
J.	Transferências: vaso sanitário				
K.	Transferências: banheira ou chuveiro				
	Locomoção				
L.	Marcha/Cadeira de rodas	M		M	
		CR		CR	
M.	Escadas				
	Comunicação				
N.	Compreensão	A		A	
		VI		VI	
O.	Expressão	V		V	
		NV		NV	
	Conhecimento Social				
P.	Interação Social				
Q.	Resolução de Problemas				
R.	Memória				
	Total				

OBS: Não deixe nenhum item em branco, se não for possível testar marque 1.
 Medida de Independência Funcional (MIF). (copyright 1987, Fundação Nacional de Pesquisa – Universidade Estadual de New York). Abreviações: M=marcha, CR= cadeira de rodas, A= Auditiva, VI= Visual, V= Verbal e NV= Não Verbal.

ANEXO B – MINI EXAME DO ESTADO MENTAL

MINI EXAME DO ESTADO MENTAL

Orientação Temporal Espacial – questão 2.a até 2.j pontuando 1 para cada resposta correta, máximo de 10 pontos.

Registros – questão 3.1 até 3.d pontuação máxima de 3 pontos.

Atenção e cálculo – questão 4.1 até 4.f pontuação máxima 5 pontos.

Lembrança ou memória de evocação – 5.a até 5.d pontuação máxima 3 pontos.

Linguagem – questão 5 até questão 10, pontuação máxima 9 pontos.

Identificação do cliente

Nome: _____

Data de nascimento/idade: _____ Sexo: _____

Escolaridade: Analfabeto () 0 à 3 anos () 4 à 8 anos () mais de 8 anos ()

Avaliação em: ____/____/____ Avaliador: _____.

Pontuações máximas	Pontuações máximas
Orientação Temporal Espacial 1. Qual é o (a) Dia da semana?__ 1 Dia do mês?_____ 1 Mês?_____ 1 Ano?_____ 1 Hora aproximada?__ 1 2. Onde estamos? Local?_____ 1 Instituição (casa, rua)?__ 1 Bairro?_____ 1 Cidade?_____ 1 Estado?_____ 1	Linguagem 5. Aponte para um lápis e um relógio. Faça o paciente dizer o nome desses objetos conforme você os aponta _____ 2 6. Faça o paciente. Repetir “nem aqui, nem ali, nem lá”. _____ 1 7. Faça o paciente seguir o comando de 3 estágios. “Pegue o papel com a mão direita. Dobre o papel ao meio. Coloque o papel na mesa”. _____ 3 8. Faça o paciente ler e obedecer ao seguinte: FECHE OS OLHOS. _____ 1 09. Faça o paciente escrever uma frase de sua própria autoria. (A frase deve conter um sujeito e um objeto e fazer sentido). (Ignore erros de ortografia ao marcar o ponto) _____ 1 10. Copie o desenho abaixo. Estabeleça um ponto se todos os lados e ângulos forem preservados e se os lados da interseção formarem um quadrilátero. _____ 1
Registros 1. Mencione 3 palavras levando 1 segundo para cada uma. Peça ao paciente para repetir as 3 palavras que você mencionou. Estabeleça um ponto para cada resposta correta. -Vaso, carro, tijolo _____ 3	
3. Atenção e cálculo Sete seriado (100-7=93-7=86-7=79-7=72-7=65). Estabeleça um ponto para cada resposta correta. Interrompa a cada cinco respostas. Ou soletrar a palavra MUNDO de trás para frente. _____ 5	
4. Lembranças (memória de evocação) Pergunte o nome das 3 palavras aprendidas na questão 2. Estabeleça um ponto para cada resposta correta. _____ 3

ANEXO C – VERSÃO BRASILEIRA DO ACE-R

EXAME COGNITIVO DE ADDENBROOKE - VERSÃO REVISADA

Título original: Addenbrooke's Cognitive Examination - Revised (ACE-R)

Referências bibliográficas - Versão original: Mioshi E, Dawson K, Mitchell J, Arnold R, Hodges JR. The Addenbrooke's Cognitive Examination Revised (ACE-R): a brief cognitive test battery for dementia screening. *Int J Geriatr Psychiatry* 2006; 21:1 078-85. **Versão adaptada:** Amaral Carvalho V & Caramelli P. Brazilian adaptation of the Addenbrooke's Cognitive Examination-Revised. *Dementia & Neuropsychologia* 2007; 2: 212-216.

Nome: Data de nascimento: Nome do Hospital:	Data da avaliação:...../...../..... Nome do examinador:..... Escolaridade:..... Profissão:..... Dominância manual:.....
---	---

ORIENTAÇÃO

➤ Perguntar: Qual é	Dia da semana	O dia do mês	O mês	O ano	A hora aproximada	[Escore 0-5] <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></div>	O R I E N T A Ç Ã O
➤ Perguntar: Qual é	Local específico	Local genérico	Bairro ou rua próxima	Cidade	Estado	[Escore 0-5] <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></div>	

REGISTRO

➤ Diga: "Eu vou dizer três palavras e você irá repeti-las a seguir: carro, vaso, tijolo "(Dar um ponto para cada palavra repetida acertadamente na 1ª vez, embora possa repeti-las até três vezes para o aprendizado, se houver erros). Use palavras não relacionadas. Registre o número de tentativas:	[Escore 0-3] <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></div>	A T E N Ç Ã O E O R I E N T A Ç Ã O
--	--	--

ATENÇÃO & CONCENTRAÇÃO

➤ Subtração de setes seriadamente (100-7, 93-7, 86-7, 79-7, 72-7, 65). Considere um ponto para cada resultado correto. Se houver erro, corrija-o e prossiga. Considere correto se o examinando espontaneamente se corrigir. Pare após 5 subtrações (93, 86, 79, 72, 65):	[Escore 0-5] <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></div>	A T E N Ç Ã O E O R I E N T A Ç Ã O
---	--	--

MEMÓRIA - Recordação

➤ Pergunte quais as palavras que o indivíduo acabara de repetir. Dar um ponto para cada.	[Escore 0-3] <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></div>	A T E N Ç Ã O E O R I E N T A Ç Ã O
---	--	--

MEMÓRIA - Memória anterógrada

➤ Diga: " Eu vou lhe dar um nome e um endereço e eu gostaria que você repetisse depois de mim. Nós vamos fazer isso três vezes, assim você terá a possibilidade de aprendê-los. Eu vou lhe perguntar mais tarde." Pontuar apenas a terceira tentativa:	[Escore 0-7] <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></div>	A T E N Ç Ã O E O R I E N T A Ç Ã O																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;"></th> <th style="width: 20%;">1ª Tentativa</th> <th style="width: 20%;">2ª Tentativa</th> <th style="width: 20%;">3ª Tentativa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Renato Moreira</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>Rua Bela Vista 73</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>Santarém</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>Pará</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> </tbody> </table>			1ª Tentativa	2ª Tentativa	3ª Tentativa	Renato Moreira				Rua Bela Vista 73				Santarém				Pará		
	1ª Tentativa	2ª Tentativa	3ª Tentativa																	
Renato Moreira																				
Rua Bela Vista 73																				
Santarém																				
Pará																				

MEMÓRIA - Memória Retrógrada

➤ Nome do atual presidente da República..... ➤ Nome do presidente que construiu Brasília..... ➤ Nome do presidente dos EUA..... ➤ Nome do presidente dos EUA que foi assassinado nos anos 60.....	[Escore 0-4] <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></div>	M E M Ó R I A
--	--	--

EXAME COGNITIVO DE ADDENBROOKE - VERSÃO REVISADA

FLUÊNCIA VERBAL – Letra “P” e Animais➤ **Letras**

[Escore 0-7]

Diga: “ Eu vou lhe dizer uma letra do alfabeto e eu gostaria que você dissesse o maior número de palavras que puder começando com a letra, mas não diga nomes de pessoas ou lugares. Você está pronto(a) ? Você tem um minuto e a letra é “P”.

				>17	7
				14-17	6
				11-13	5
				8-10	4
				6-7	3
				4-5	2
				2-3	1
				<2	0
				total	acertos
0-15 seg	16-30 seg	31-45 seg	46-60 seg		

➤ **Animais**

[Escore 0-7]

Diga: “Agora você poderia dizer o maior número de animais que conseguir, começando com qualquer letra?”

				>21	7
				17-21	6
				14-16	5
				11-13	4
				9-10	3
				7-8	2
				5-6	1
				<5	0
				total	acertos
0-15 seg	16-30 seg	31-45 seg	46-60 seg		

LINGUAGEM - Compreensão

- Mostrar a instrução escrita e pedir ao indivíduo para fazer o que está sendo mandado (não auxilie se ele pedir ajuda ou se só ler a frase sem realizar o comando):

[Escore 0-1]

Feche os olhos

➤ Comando :

“ **Pegue este papel com a mão direita, dobre-o ao meio e coloque -o no chão.**”

Dar um ponto para cada acerto. Se o indivíduo pedir ajuda no meio da tarefa não dê dicas.

[Escore 0-3]

LINGUAGEM - Escrita

- Peça ao indivíduo para escrever uma frase: Se não compreender o significado, ajude com: *alguma frase que tenha começo, meio e fim; alguma coisa que aconteceu hoje; alguma coisa que queira dizer.* Para a correção não são considerados erros gramaticais ou ortográficos. Dar um ponto.

[Escore 0-1]

A
I
C
N
Ê
U
L
F
M
E
G
A
U
G
N
I
L

EXAME COGNITIVO DE ADDENBROOKE - VERSÃO REVISADA

LINGUAGEM - Repetição		
> Peça ao indivíduo para repetir: “hipopótamo”; “excentricidade”; “ininteligível”; “estatístico”. Diga uma palavra por vez e peça ao indivíduo para repetir imediatamente depois de você. Pontue 2, se todas forem corretas; 1, se 3 forem corretas; 0, se 2 ou menos forem corretas.	[Escore 0-2] <input type="text"/>	
> Peça ao indivíduo que repita: “Acima, além e abaixo”	[Escore 0-1] <input type="text"/>	
> Peça ao indivíduo que repita: “ Nem aqui, nem ali, nem lá”	[Escore 0-1] <input type="text"/> <input type="text"/>	
LINGUAGEM - Nomeação		
> Peça ao indivíduo para nomear as figuras a seguir:	[Escore 0-2] caneta + relógio <input type="text"/> <input type="text"/>	M E G A U G N I L
<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	[Escore 0-10] <input type="text"/>
<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		
LINGUAGEM - Compreensão		
> Utilizando as figuras acima, peça ao indivíduo para:	[Escore 0-4] <input type="text"/>	
<ul style="list-style-type: none"> • Apontar para aquela que está associada com a monarquia _____ • Apontar para aquela que é encontrada no Pantanal _____ • Apontar para aquela que é encontrada na Antártica _____ • Apontar para aquela que tem uma relação náutica _____ 		

EXAME COGNITIVO DE ADDENBROOKE - VERSÃO REVISADA

LINGUAGEM - Leitura			
<p>➤ Peça ao indivíduo para ler as seguintes palavras: [Pontuar com 1, se todas estiverem corretas]</p> <p>táxi testa saxofone fixar ballet</p>	<p>[Escore 0-1]</p> <div></div>	L I N G U A G E M	
HABILIDADES VISUAIS-ESPACIAIS			
<p>➤ Pentágonos sobrepostos: Peça ao indivíduo para copiar o desenho e para fazer o melhor possível.</p>	<p>[Escore 0-1]</p> <div></div> <div></div>		L I N G U A G E M

<p>➤ Cubo: Peça ao indivíduo para copiar este desenho (para pontuar, veja guia de instruções)</p>	<p>[Escore 0-2]</p> <div></div>	L I N G U A G E M

<p>➤ Relógio: Peça ao indivíduo para desenhar o mostrador de um relógio com os números dentro e os ponteiros marcando 5:10 h.(para pontuar veja o manual de instruções: círculo = 1; números = 2; ponteiros = 2, se todos corretos)</p>	<p>[Escore 0-5]</p> <div></div>		L I N G U A G E M

EXAME COGNITIVO DE ADDENBROOKE - VERSÃO REVISADA

HABILIDADES PERCEPTIVAS

➤ Peça ao indivíduo para contar os pontos sem apontá-los.

[Escore 0-4]

V I S U A L - E S P A C I A L

EXAME COGNITIVO DE ADDENBROOKE - VERSÃO REVISADA

HABILIDADES PERCEPTIVAS										
> Peça ao indivíduo para identificar as letras:								[Escore 0-4] <input type="text"/>		
<input type="text"/>				<input type="text"/>				V I S U A L - E S P A C I A L

<input type="text"/>				<input type="text"/>

RECORDAÇÃO & RECONHECIMENTO										
> Peça "Agora você vai me dizer o que você se lembra daquele nome e endereço que nós repetimos no começo".										
Renato Moreira Rua Bela Vista 73 Santarém Pará								[Escore 0-7] <input type="text"/>		
> Este teste deve ser realizado caso o indivíduo não consiga se recordar de um ou mais itens. Se todos os itens forem recordados, salte este teste e pontue 5. Se apenas parte for recordada, assinale os itens lembrados na coluna sombreada do lado direito. A seguir, teste os itens que não foram recordados dizendo "Bom, eu vou lhe dar algumas dicas: O nome / endereço era X, Y ou Z?" e assim por diante. Cada item reconhecido vale um ponto que é adicionado aos pontos obtidos pela recordação.										
Ricardo Moreira		Renato Moreira		Renato Nogueira		Recordação		[Escore 0-5] <input type="text"/>		
Bela Vida		Boa Vista		Bela Vista		Recordação				
37		73		76		Recordação				
Santana		Santarém		Belém		Recordação				
Pará		Ceará		Paraíba		Recordação				
Escore Geraís										
						MEEM	/30		E S C O R E S	
						ACE-R	/100			
Subtotais										
						Atenção e Orientação	/18			
						Memória	/26			
						Fluência	/14			
						Linguagem	/26			
						Visual-espacial	/16			