

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA - CT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

**Desenvolvimento e Avaliação de Um Sistema de Jogos Sérios Baseado em Interfaces
Naturais para Reabilitação de Membros Superiores**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Diego João Cargnin

Santa Maria, RS, Brasil

2015

**Desenvolvimento e Avaliação de Um Sistema de Jogos Sérios Baseado em Interfaces
Naturais para Reabilitação de Membros Superiores**

Por

Diego João Cargnin

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em
Informática. Área de Concentração em Computação Aplicada da Universidade Federal de
Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Marcos Cordeiro d'Ornellas (UFSM)

Santa Maria, RS, Brasil

2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Cargnin, Diego João
Desenvolvimento e Avaliação de Um Sistema de Jogos
Sérios Baseado em Interfaces Naturais para Reabilitação de
Membros Superiores / Diego João Cargnin.-2015.
156 p.; 30cm

Orientador: Marcos Cordeiro d'Ornellas
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Informática, RS, 2015

1. Reabilitação Fisioterapêutica 2. Microsoft Kinect
3. Interfaces Humano-Computador 4. Exergames 5. Feedback
I. Cordeiro d'Ornellas, Marcos II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Informática**

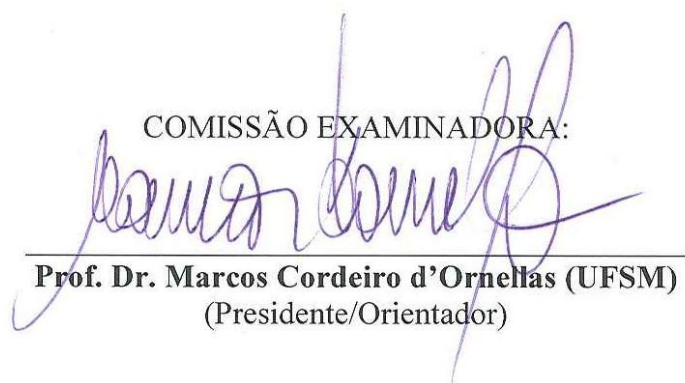
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**Desenvolvimento e Avaliação de Um Sistema de Jogos Sérios Baseado em
Interfaces Naturais para Reabilitação de Membros Superiores**

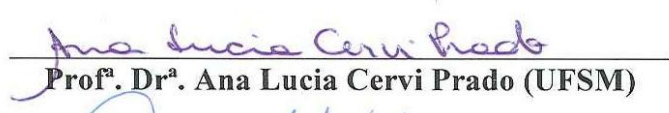
elaborado por
Diego João Cargnin

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência da Computação

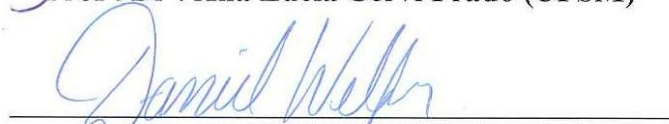
COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Marcos Cordeiro d'Ornellas (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Prof. Dr. Ana Lucia Cervi Prado (UFSM)



Prof. Dr. Daniel Welfer (UNIPAMPA)

Santa Maria, 17 de abril de 2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais e meu irmão pelo companheirismo, apoio e confiança em todas as horas, sem os quais não teria conseguido chegar até aqui

A todos os amigos que fiz por onde passei dentro da UFSM.

Aos professores Marcos e Ana pela dedicação e orientação durante estes anos em que trabalhamos juntos.

E a todos os familiares e amigos que estiveram comigo durante esta longa caminhada.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Ciência da Computação
Universidade Federal de Santa Maria

Desenvolvimento e Avaliação de Um Sistema de Jogos Sérios Baseado em Interfaces Naturais para Reabilitação de Membros Superiores

AUTOR: DIEGO JOÃO CARGNIN

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCOS CORDEIRO D'ORNELLAS

Pacientes de fisioterapia, vítimas de acidentes, derrames e lesões são submetidos por vários meses a sessões repetitivas de exercícios para reabilitação, dependendo quase que totalmente do auxílio e acompanhamento do fisioterapeuta. Os exercícios realizados devem ser supervisionados e avaliados regularmente, com o intuito de medir o progresso do paciente no tratamento. A evolução de novas tecnologias de interação com o paciente, através de sensores de detecção de movimentos de baixo custo, possibilita a criação de softwares de apoio ao tratamento fisioterapêutico. Além disso, a introdução de *Exergames* e *BrainTraining* games nos campos da medicina e fisioterapia tem demonstrado que é possível utilizar jogos sérios para auxiliar nos tratamentos de doenças e condições especiais dos pacientes. Contudo, poucos estudos demonstram a importância ou resultados relevantes quanto à usabilidade das soluções. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e avaliação de um sistema de jogos para auxiliar fisioterapeutas na análise da qualidade e eficiência da sessão de exercícios. A avaliação realizada através de questionários específicos demonstrou a qualidade do sistema desenvolvido quanto à usabilidade e funcionalidade dos jogos apresentados. Também a partir dos dados finais coletados, apresenta-se um padrão ideal de dados para os movimentos dos jogadores, que pode ser usado como referência durante o tratamento de pacientes.

Palavras-chave: Microsoft Kinect, Reabilitação Fisioterapêutica, Unity, Interfaces Humano-Computador, Exergames, Feedback

ABSTRACT

Masters Dissertation
Master in Computer Science
Universidade Federal de Santa Maria

Desenvolvimento e Avaliação de Um Sistema de Jogos Sérios Baseado em Interfaces Naturais para Reabilitação de Membros Superiores

AUTHOR: DIEGO JOÃO CARGNIN

ADVISOR: PROF. DR. MARCOS CORDEIRO D'ORNELLAS

Physiotherapy patients, victims of accidents, strokes and injuries are submitted for several months of repetitive exercise in rehabilitation sessions, depending almost entirely of aid and monitoring of the physical therapist. The performed exercises should be supervised and evaluated regularly in order to measure the patient's progress in treatment. The evolution of new interaction technologies with the patient, through low-cost motion detection sensors, enables the creation for physical therapy support software. Furthermore, the introduction of Exergames and BrainTraining games in the fields of medicine and physical therapy has shown that serious games can be used to assist the treatment of diseases and patients in special conditions. However, few studies demonstrate the importance or relevant results regarding the usability of solutions. This paper presents the development and evaluation of a gaming system to assist physiotherapists in quality analysis and workout efficiency. The evaluation through specific questionnaires showed the quality of the developed system on the usability and functionality of the games. Also from the final collected data, it is presented an ideal standard for players movement data, that can be used as a reference during treatment of patients.

Key words: Microsoft Kinect, Rehabilitation, Physical Therapy, Unity, Interfaces, Human-Computer Interfaces, Exergames, Feedback

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Goniômetro Universal	34
Figura 2 - Movimento de Abdução e Flexão dos Braços	35
Figura 3 - Demonstração do funcionamento dos neurônios espelho em macacos	37
Figura 4 - Tipos de Biofeedback	38
Figura 5 - Tratamento por Biofeedback Biomecanico	39
Figura 6 - Caso de uso do jogo	46
Figura 7 - Componentes do Microsoft Kinect	48
Figura 8 - Ângulo de visão Kinect	49
Figura 9 - Imagens obtidas através das câmeras do dispositivo em conjunto com o SDK	50
Figura 10 - Inspector de elementos de um objeto	53
Figura 11 - Preview e Editor apresentando alguns componentes de edição da Unity	54
Figura 12 - Componentes de um objeto na Unity	56
Figura 13 - Hierarquias das partes do personagem	59
Figura 14 - Diferenças entre os dois tipos de scripts	59
Figura 15 - Exemplo de Modelos 3D utilizados	61
Figura 16 - Exemplo de um rigged model	62
Figura 17 - Ciclo de vida simples de design da iteração	63
Figura 18 - Tela de desenvolvimento incremental do Main Menu	64
Figura 19 - Tela de desenvolvimento incremental do Modo Multiplayer	65
Figura 20 - Informação dos participantes	66
Figura 21 - Componente Animator responsável pela animação dos personagens	67
Figura 22 - Representação do Modo Singleplayer	68
Figura 23 - Representação Modo Singleplayer em execução	68
Figura 24 - Representação do Modo Multiplayer	71
Figura 25 - Representação do Modo Multiplayer em execução	71
Figura 26 - Modelo relacional	72
Figura 27 - Código da função sendDB para números	73
Figura 28 - Código executado ao término da partida para enviar os dados	74
Figura 29 - Pontuação total de cada modo de jogo	89
Figura 30 - Total de respostas por pergunta para competição	91
Figura 31 - Total de respostas por pergunta para competição multiplayer	92
Figura 32 - Total de respostas por pergunta para competição singleplayer	93
Figura 33 - Total de respostas por pergunta para competência	94
Figura 34 - Total de respostas por pergunta para competência multiplayer	94
Figura 35 - Total de respostas por pergunta para competência singleplayer	95
Figura 36 - Total de respostas por pergunta para fluidez	97
Figura 37 - Total de respostas por pergunta para fluidez multiplayer	97
Figura 38 - Total de respostas por pergunta para fluidez singleplayer	97
Figura 39 - Total de respostas por pergunta para efeito negativo	99
Figura 40 - Total de respostas por pergunta para efeito negativo multiplayer	100

Figura 41 - Total de respostas por pergunta para efeito negativo singleplayer	100
Figura 42 - Total de respostas por pergunta para efeito positivo.....	102
Figura 43 - Total de respostas por pergunta para efeito positivo multiplayer	102
Figura 44 - Total de respostas por pergunta para efeito positivo singleplayer	103
Figura 45 - Total de respostas por pergunta para imersão	105
Figura 46 - Total de respostas por pergunta para imersão multiplayer.....	105
Figura 47 - Total de respostas por pergunta para imersão singleplayer.....	105
Figura 49 - Total de respostas por pergunta para tensão multiplayer	107
Figura 48 - Total de respostas por pergunta para tensão.....	108
Figura 50 - Total de respostas por pergunta para tensão singleplayer	108
Figura 51 - Total de respostas por pergunta para CUE teste	110
Figura 52 - Total de respostas por pergunta para CUE teste multiplayer	110
Figura 53 - Total de respostas por pergunta para CUE teste singleplayer	110
Figura 54 - Total de respostas por pergunta para RPE	112
Figura 55 - Total de respostas por pergunta para RPE Multiplayer.....	112
Figura 56 - Total de respostas por pergunta para RPE Singleplayer	112
Figura 57 - Pontuação total por participante	113
Figura 58 - Amostras por ângulo obtido singleplayer para cotovelo direito	114
Figura 59 - Amostras por ângulo obtido multiplayer para cotovelo direito.....	115
Figura 60 - Amostras por ângulo obtido totais para cotovelo direito	115
Figura 61 - Amostras por ângulo obtido totais para cotovelo direito sobrepostas.....	115
Figura 62 - Padrão total final para cotovelo direito	116
Figura 63 - Amostras por ângulo obtido singleplayer para cotovelo esquerdo	116
Figura 64 - Amostras por ângulo obtido multiplayer para cotovelo esquerdo.....	117
Figura 65 - Amostras por ângulo obtido totais para cotovelo esquerdo	117
Figura 66 - Amostras por ângulo obtido totais para cotovelo esquerdo sobrepostas.....	117
Figura 67 - Padrão total final para cotovelo esquerdo	118
Figura 68 - Amostras por ângulo obtido singleplayer para ombro direito.....	118
Figura 69 - Amostras por ângulo obtido multiplayer para ombro direito	119
Figura 70 - Amostras por ângulo obtido totais para ombro direito.....	119
Figura 71 - Amostras por ângulo obtido totais para ombro direito sobrepostas	119
Figura 72 - Padrão total final para ombro direito.....	120
Figura 73 - Amostras por ângulo obtido singleplayer para ombro esquerdo.....	120
Figura 74 - Amostras por ângulo obtido multiplayer para ombro esquerdo.....	121
Figura 75 - Amostras por ângulo obtido totais para ombro esquerdo.....	121
Figura 76 - Amostras por ângulo obtido totais para ombro esquerdo sobrepostos.....	121
Figura 77 - Padrão total final para ombro esquerdo.....	122
Figura 78 - Amostras por ângulo obtido singleplayer para Inclinação Horizontal.....	122
Figura 79 - Amostras por ângulo obtido multiplayer para Inclinação Horizontal	123
Figura 80 - Amostras por ângulo obtido totais para Inclinação Horizontal.....	123
Figura 81 - Amostras por ângulo obtido totais para Inclinação Horizontal sobrepostos.....	123
Figura 82 - Padrão total final para Inclinação Horizontal.....	124
Figura 83 - Amostras por ângulo obtido singleplayer para Inclinação vertical	124
Figura 84 - Amostras por ângulo obtido multiplayer para Inclinação vertical	125

Figura 85 - Amostras por ângulo obtido totais para Inclinação vertical	125
Figura 86 - Amostras por ângulo obtido totais para Inclinação vertical sobrepostas.....	125
Figura 87 - Padrão total final para Inclinação vertical	126

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela representativa da experiência do usuário.....	79
Tabela 2 - Valores de aceitabilidade de alfa.....	88
Tabela 3 - Alfa de Crombach para competição	90
Tabela 4 - Respostas para a dimensão Competição Multiplayer.....	91
Tabela 5 - Respostas para a dimensão Competição Singleplayer	91
Tabela 6 - Alfa de Crombach para Competência	93
Tabela 7 - Respostas para a dimensão Competência Multiplayer.....	93
Tabela 8 - Respostas para a dimensão Competência Singleplayer	94
Tabela 9 - Alfa de Crombach para fluidez	96
Tabela 10 - Respostas para a dimensão Fluidez Multiplayer.....	96
Tabela 11 - Respostas para a dimensão Fluidez Singleplayer	96
Tabela 12 - Alfa de Crombach para efeito negativo.....	98
Tabela 13 - Respostas para a dimensão Efeito Negativo Multiplayer	99
Tabela 14 - Respostas para a dimensão Efeito Negativo Singleplayer	99
Tabela 15 - Alfa de Crombach para efeito positivo.....	101
Tabela 16 - Respostas para a dimensão Efeito Positivo Multiplayer.....	101
Tabela 17 - Respostas para a dimensão Efeito Positivo Singleplayer	102
Tabela 18 - Alfa de Crombach para imersão	104
Tabela 19 - Respostas para a dimensão Imersão Multiplayer.....	104
Tabela 20 - Respostas para a dimensão Imersão Singleplayer	104
Tabela 21 - Alfa de Crombach para Tensão	106
Tabela 22 - Respostas para a dimensão Tensão Multiplayer	107
Tabela 23 - Respostas para a dimensão Tensão Singleplayer.....	107
Tabela 24 - Respostas para CUE Multiplayer.....	109
Tabela 25 - Respostas para CUE Singleplayer	109
Tabela 26 - Respostas para RPE Multiplayer	111
Tabela 27 - Respostas para RPE Singleplayer	111

ÍNDICE DE APÊNDICES

Apendice A - Game Design Document	139
Apendice B - Termo de Consentimento	149

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A - Formulários Aplicados Durante os Testes.....	155
--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D - Duas Dimensões

3D - Três Dimensões

ADM - Amplitude de Movimento Articular

API - Application Programming Interface

AVE - Acidente Vascular Encefálico

AVC - Acidente Vascular Cerebral

HUSM - Hospital Universitário de Santa Maria

LaCA - Laboratório de Computação Aplicada

SNC - Sistema Nervoso Central

NUI - Natural User Interface

GDD - Game Design Document

SDK - Software Development Kit

FPS - Frames per Second

IDE - Integrated Development Environment

HDR - High Dynamic Range

GPL - General Public License

GUI - Graphical User Interface

PHP - PHP: Hypertext Preprocessor

SQL - Structured Query Language

ISO - International Organization for Standardization

NBR - Norma Brasileira

SUS - System Usability Scale

CUE - Capabilities of Upper Extremity

RPE - Rating of Perceived Exertion

UNIFRA - Centro Universitário Franciscano

UFSM - Universidade Federal de Santa Maria

USB - Universal Serial Bus

CPU - Central Processing Unit

PPGI - Programa de Pós-Graduação em Informática

GEQ - Game Experience Questionnaire

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	27
1.1	Objetivos.....	28
1.1.1	Objetivo Geral.....	28
1.1.2	Objetivos específicos	29
1.1.3	Estrutura do Texto	29
2	REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1	Reabilitação em Hemiplegia	31
2.1.1	Acidente Vascular Encefálico.....	31
2.1.2	Hemiplegia e Hemiparesia.....	31
2.1.3	Reabilitação do Paciente Hemiplégico	32
2.2	Movimento de abdução do ombro, flexão e extensão do cotovelo.....	33
2.2.1	Abdução e adução do ombro.....	34
2.2.2	Flexão e extensão do cotovelo	34
2.3	Neurônio Espelho.....	35
2.4	Biofeedback	37
2.5	Biofeedback biomecânico.....	38
2.6	A Dinâmica Multi Jogador	39
2.7	Problemas e Riscos em Jogos Decorrentes de Exercícios Mal Executados ou Posição Inadequada.....	40
3	JOGOS SÉRIOS	41
3.1	Interfaces naturais	41
3.1.1	Jogos Baseados em Exercícios Físicos	42
3.2	Design de Jogos	43
3.2.1	Documento de Concepção de Jogos	44
3.3	Descrição do Jogo e Requisitos.....	45
4	MATERIAIS E MÉTODOS	47
4.1	Processo de desenvolvimento dos jogos	47
4.1.1	O Kinect.....	47
4.1.1.1	Hardware	47
4.1.1.2	Kit de Desenvolvimento de Software do Kinect.....	49
4.1.2	Motores de jogo	50
4.1.2.1	Motor de Jogo Unity	51
4.1.3	Características e Componentes da Unity	52
4.1.3.1	O Editor.....	52
4.1.3.2	Objetos e Componentes.....	54
4.1.3.3	Linguagem C-Sharp	56
4.1.3.4	Script e a mecânica da orientação a objetos.....	56
4.1.3.5	Módulos de extensão.....	57
4.1.3.6	Conectando Kinect e Unity	57
4.1.3.7	Objetos Pré-fabricados	60
4.1.4	Modelos 3D.....	60
4.1.4.1	Modelos de Personagens Interligados	61
4.2	Desenvolvimento do sistema de jogo.....	63
4.3	Menu Principal	65

4.3.1	Modo Jogador Único	67
4.3.2	Modo Multi Jogador	70
4.3.3	Banco de dados do sistema.....	72
4.3.4	Conexão da Unity com o banco de dados	73
4.4	Usabilidade Jogabilidade e Funcionalidade	75
4.4.1	Usabilidade.....	75
4.4.2	Jogabilidade.....	76
4.4.3	Procedimentos de teste	76
4.4.3.1	Questionário de Experiência de Jogo	77
4.4.4	Funcionalidade e Análise Funcional	79
4.4.4.1	Questionários de Funcionalidade.....	80
4.5	Procedimentos e planejamento para aquisição de dados	80
4.5.1	Análise técnica	81
4.5.2	Plano de coleta.....	82
4.5.3	Aquisição de dados.....	82
4.5.4	Participantes especialistas	83
4.5.4.1	Times/divisão dos testes	83
4.5.5	Equipamentos e programas utilizados.....	83
4.5.6	Procedimentos	84
4.5.7	A ordem de procedimentos executados durante a aquisição de dados foi a seguinte	85
4.5.8	Documentação final gerada	85
4.5.9	Termo de consentimento assinado pelos participantes.....	85
5	RESULTADOS	87
5.1	Análise de Confiabilidade (Alfa de Crombach)	87
5.2	Análise de Variância	88
5.3	Análise dos resultados do teste GEQ.....	89
5.3.1	Competição.....	90
5.3.2	Competência.....	92
5.3.3	Fluidez.....	95
5.3.4	Efeito Negativo.....	98
5.3.5	Efeito Positivo	100
5.3.6	Imersão	103
5.3.7	Tensão	106
5.4	Análise dos resultados do teste de funcionalidade CUEQ.....	108
5.4.1	Análise RPE	111
5.5	Resultados do jogo	113
5.6	Tabelas de Dados.....	113
5.6.1	Cotovelo Direito	114
5.6.2	Cotovelo Esquerdo	116
5.6.3	Ombro Direito	118
5.6.4	Ombro Esquerdo.....	120
5.6.5	Inclinação Horizontal	122
5.6.6	Inclinação Vertical	124
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	127
6.1	Trabalhos Futuros.....	128
REFERÊNCIAS		129
APÊNDICES		137
ANEXOS		153

1 INTRODUÇÃO

A introdução de novas tecnologias na área da medicina tem aberto portas para inúmeras possibilidades. As tecnologias de reconhecimento de movimento têm sido utilizadas para a análise da movimentação, tanto para reabilitação de pacientes quanto para a análise biomecânica. A fisioterapia, portanto, é um dos alvos principais de aplicação destas tecnologias por ter como objeto de estudo as desordens do movimento humano decorrentes de sequelas de diferentes patologias ou traumas (ALVES, 2012; TÓRTORA, 2012; JUNIOR, 2013).

A hemiplegia é uma destas sequelas e se caracteriza pela paralisia da metade do corpo de um paciente podendo ser esta severa ou mais branda, chamada hemiparesia, sendo mais frequente em vítimas de acidente vascular cerebral ou de paralisia cerebral. O tratamento da hemiplegia e hemiparesia varia muito de acordo com a sua causa e tipo de sequela, podendo ser longo e este é realizado através de seções de fisioterapia com a finalidade de devolver ao paciente parte dos movimentos, força e habilidades normais que possuía. A força é um dos elementos que o paciente hemiplégico precisa recuperar para realizar os movimentos adequadamente. Como consequência, há uma melhora na qualidade de vida do indivíduo hemiplégico e permite que este consiga realizar tarefas do cotidiano sem ajuda de outros, muito embora a condição não possa ser totalmente revertida na maioria dos casos.

A atividade física é muito utilizada para o tratamento da hemiplegia (COSTA, 2002). Através da repetição de atividades funcionais e treino com tarefas motoras permite-se que o paciente melhore sua condição através da aprendizagem motora.

Neste contexto, introduzem-se no ambiente de fisioterapia os jogos sérios. Os jogos sérios, diferem dos jogos normais por mudarem o seu foco principal que é o entretenimento para algo diferente, como educação, simulação ou treinamento físico. Os jogos sérios, mais especificamente os *exergames*, têm se tornado populares devido a introdução de tecnologias economicamente viáveis e acessíveis tais como o Microsoft® Kinect™ e o Nintendo® Wii™, que permitem a utilização do próprio corpo do jogador como controle. A utilização destes dispositivos reduz a dificuldade de interação com os sistemas, proporcionando mais acessibilidade a jogadores de diferentes idades e condições físicas.

A maturação do software destes sistemas tem permitido que sistemas que necessitem de maior precisão sejam desenvolvidos como é o caso da técnica de fisioterapia chamada *biofeedback* (GALNA, 2014). A utilização do *biofeedback* consiste na avaliação do paciente

através de medições a partir do seu próprio corpo e da sua movimentação para que tais informações possam ser utilizadas para quantificar seu desempenho e guiar o seu tratamento. Os sistemas atuais são caros e utilizam sensores corporais para fazer estas medições, tornando-os mais difíceis de ser usados embora tenham bons resultados. Contudo, o Kinect também pode proporcionar resultados de boa qualidade para *exergames* de reabilitação de membros superiores (BONNECHÈRE, 2014).

Para a utilização do *Kinect* em conjunto com o *biofeedback*, foi desenvolvido um sistema de jogos sérios para reabilitação, mais especificamente para os membros superiores, para pacientes que sofrem de hemiplegia. Podemos encontrar algumas soluções proprietárias para este tipo de aplicação, contudo, como descrito em VITTI (2012), poucos estudos relatam a validação dos jogos sérios desenvolvidos, tratando em sua maioria apenas de relatos descritivos sobre o desenvolvimento e aplicação a pacientes, mas com tendências a estudos experimentais de novos modelos.

Para o desenvolvimento deste sistema de jogos, vários conceitos foram abordados durante a sua concepção, visando a análise de dados estatísticos finais sobre a usabilidade e funcionalidade dos jogos bem como a experiência dos participantes. Os jogos foram desenvolvidos baseando-se em requisitos discutidos com fisioterapeutas e que representavam as necessidades dos pacientes, para entregar jogos que pudessem ser utilizados para o tratamento de pacientes hemiplégicos. Ao mesmo tempo, foi realizada uma descrição detalhada dos passos para a concepção de jogos eletrônicos utilizando motores de jogo (*game engines*) de última geração para desenvolver um jogo visualmente atraente e com boa jogabilidade.

Este trabalho visa à criação de uma referência com resultados sólidos sobre a usabilidade e funcionalidade de um sistema de jogos, bem como um padrão normal de movimentos para o problema proposto da hemiplegia. A partir desta validação pode-se utilizar a base criada para a introdução e análise de diversos outros jogos para o tratamento de demais condições que possam ser tratadas a partir da utilização da movimentação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como principal objetivo a aplicação de métodos para avaliar um sistema de jogos baseado em interfaces naturais, desenvolvido através da utilização de

motores gráficas, banco de dados e dispositivos de detecção de movimento e projetado para auxiliar o profissional da fisioterapia nas atividades de avaliação e tratamento de pacientes com dificuldade de movimentação dos membros superiores através de *biofeedback* biomecânico para avaliação e monitoramento dos tratamentos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Aplicar um modelo incremental de desenvolvimento para aquisição de requisitos e apresentar a base de conhecimento necessária para a criação destes requisitos;
- Apresentar o sistema de criação de jogos e suas características;
- Utilizar interfaces naturais e gráficas no desenvolvimento da aplicação com Microsoft *Kinect*;
- Desenvolver um sistema de jogos modular e integrado com 2 tipos de jogos e banco de dados;
- Analisar o sistema a partir dos questionários e testes aplicados;
- Criar de um padrão ideal de movimentos a partir dos dados coletados com os participantes do teste para o jogo desenvolvido.

1.1.3 Estrutura do Texto

Este trabalho está estruturado da seguinte maneira. No Capítulo 2, é apresentada uma revisão sobre os conteúdos abordados neste trabalho referentes a hemiplegia e a reabilitação através da repetição de movimentos e *biofeedback*. No Capítulo 3, são expostos os jogos sérios, como *exergames* e o processo de criação dos mesmos. No Capítulo 4 são descritos os processos de desenvolvimento de jogos e são descritas de forma detalhada todas as ferramentas e equipamentos utilizados para a criação completa do sistema. No Capítulo 5, é descrito todo processo de desenvolvimento de cada módulo do jogo. No Capítulo 6, faz-se uma revisão das ferramentas utilizadas para a análise e teste do sistema de jogos desenvolvido. No Capítulo 7, são apresentados todos os procedimentos executados para a aquisição dos dados e testes com os participantes. No Capítulo 8, são apresentados os resultados obtidos através da coleta de dados com os testes em laboratório. Finalmente no capítulo 9, são apresentadas as considerações finais e trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são descritos os conceitos teóricos em que se baseia a reabilitação do paciente hemiplégico, além de uma extensa revisão sobre os fatores que tornam a utilização de jogos na fisioterapia eficiente para o tratamento destes pacientes.

2.1 Reabilitação em Hemiplegia

2.1.1 Acidente Vascular Encefálico

O acidente vascular encefálico é caracterizado por um distúrbio neurológico focal, ou às vezes global, durando mais que 24 horas, com desenvolvimento rápido dos sintomas. Podem ser classificados como isquêmicos ou hemorrágicos (LEITE, 2009). O acidente vascular encefálico (AVE) resulta da restrição na irrigação sanguínea, no Sistema Nervoso Central (SNC), promovendo alterações focais das funções encefálicas, causando lesão celular e danos às funções neurológicas. Clinicamente, diversas deficiências são possíveis, inclusive danos às funções motoras, sensitivas, mentais, perceptivas e de linguagem. (MINUTOLI, 2007; GOMES, 2006).

O AVE é a segunda causa de morte em todo o mundo, excedida apenas por doença cardíaca (CHAVES, 2000). Segundo (CHAVES, 2000) nas últimas décadas, estudos de métodos mais acurados, têm identificado riscos modificáveis (hipertensão, diabetes, fumo, fibrilação atrial, outras doenças cardíacas, hiperlipidêmicas, sedentarismo, estenose carotídea assintomática, ataques isquêmicos transitórios) bem como não modificáveis (idade, sexo, raça, etnia, hereditariedade) e ainda outros fatores (álcool, anticorpos anti-fosfolipídeos, homocisteína elevada, processo inflamatório, infecção), para AVE isquêmico e hemorrágico.

2.1.2 Hemiplegia e Hemiparesia

A hemiplegia é resultante na grande maioria dos casos do AVC, infringindo a pessoa afetada a paralisia em uma das metades sagital do seu corpo ou hemicorpo. A hemiplegia é semelhante à hemiparesia e a diferença entre elas encontra-se na intensidade com que os sintomas são apresentados. A Hemiplegia é a paralisia total do hemicorpo do paciente sendo que este fica impossibilitado de movê-los completamente, já na hemiparesia ocorre apenas a

diminuição da força muscular também em um dos lados do corpo limitando seus movimentos (GOMES, 2006). É geralmente o resultado de um acidente vascular cerebral, mas também podem ser provocadas por patologias que afetam a coluna vertebral ou os hemisférios cerebrais. A paralisia cerebral pode afetar um hemisfério, resultando numa limitação de funções não significando necessariamente causar paralisia, mas espasmos involuntários como sintoma (BOIAN, 2002).

Dependendo do hemisfério cerebral afetado, além de paralisia, outras funções estão reduzidas tais como audição, visão, fala e capacidade de raciocínio. Esta condição pode afetar ambos os sexos em qualquer idade, mas é mais comum em idosos. A causa mais comum é o acidente vascular cerebral (trombose arterial, ou hemorragia cerebral), a qual interrompe o fluxo de sangue numa região de cérebro, resultando em necrose ou morte do tecido do cérebro correspondente à área afetada (RAHMAN, 2013).

A hemiplegia apresenta três fases em sua evolução:

- AVC: apoplético;
- Estabilização: Acontece a pacientes com AVC que apresenta confusão mental, temporal e espacial, e pode ter dificuldade na fala, especialmente se a lesão é no hemisfério esquerdo do cérebro;
- Recuperação: é aquele em que o doente progride em relação a uma melhoria de acordo com a hemiplegia causada;

A hemiplegia é um quadro grave e que geralmente incapacita os afetados, o que representa um grande desafio para a fisioterapia e neurologia. A análise motora geralmente é avaliada durante meses de tratamento, baseada nos resultados apresentados pelos exercícios propostos.

2.1.3 Reabilitação do Paciente Hemiplégico

A fisioterapia é uma parte integrante do tratamento da hemiplegia e pode obter muitos benefícios como melhorar a aparência facial, aumentar a mobilidade de membros e tornar o indivíduo mais independente em suas atividades diárias. Para atingir estes objetivos pode-se utilizar várias técnicas de fisioterapia como bolas de exercício, espelhos, pesos, trampolins e outros equipamentos e técnicas necessários para melhorar a capacidade física e mental do paciente. No entanto, é preciso ter cuidado em relação a restrições de circulação causadas por dor articular e muscular relacionada à espasticidade e, neste caso, o uso de medicamentos, ultrassom e bolsas de água quente ou gelo pode ser imprescindível. É importante que o

tratamento possa ser realizado de modo contínuo e que o paciente seja estimulado frequentemente para evitar contraturas musculares.

Além do hemisfério paralisado e o déficit sensorial ou motor no paciente com hemiplegia, geralmente desenvolvem-se estados patológicos secundários tais como a dor no ombro, que afeta entre 48% e 85% dos pacientes com hemiplegia dependendo do estudo. Região, população e demais fatores podem afetar este resultado (MEHTA, 2013). A recuperação do paciente constitui um grande desafio pela complexidade das funções perdidas e a elevada incidência de dor no ombro, resultando em um impacto negativo sobre o processo de reabilitação.

Esta condição dolorosa tem etimologia diversa que pode estar associada a subluxação escapuloumeral, capsulite adesiva, síndrome do impacto, síndrome dolorosa complexa regional, tendinite bicipital, neuropatia, tração do plexo braquial, espasticidade, mobilização do membro superior paralisado em torno da amplitude de movimento (ADM), lesões dos tecidos moles, dor central, ou da união desses fatores (WIEMEYER, 2013).

A hemiplegia normalmente leva muito tempo para se recuperar. A dor é um fator a mais que pode retardar o processo de tratamento (FREITAS, 2011). O objetivo da fisioterapia é estimular o exercício e controlar a dor crônica, protegendo o paciente de outras lesões (PRENTICE, 2003). Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma ferramenta de auxílio no tratamento e análise do desempenho do paciente através da aplicação de técnicas de *biofeedback* para medir a amplitude articular de movimentos utilizando a técnica de goniometria com dispositivos de reconhecimento de movimentos.

2.2 Movimento de abdução do ombro, flexão e extensão do cotovelo

O termo goniometria é formado por duas palavras gregas, *gonia*, que significa ângulo, e *metron*, que significa medida. Portanto, goniometria refere-se à medida de ângulos articulares presentes nas articulações dos seres humanos. O instrumento mais utilizado para medir a amplitude de movimento é o goniômetro universal. (MARQUES, 2003).

Através dos valores obtidos nos goniômetros (Figura 1), podemos avaliar as amplitudes de movimentos das articulações (pé, tornozelo joelho, quadril, coluna, ombro, mãos, radioulnar, carpometacarpal e interfalângicas proximais e distais), determinar a presença de disfunção, estabelecer diagnóstico e os objetivos do tratamento, avaliar se houve melhora ou recuperação funcional, modificando o tratamento se necessário e direcionar a fabricação de órteses. (MARQUES, 2003).

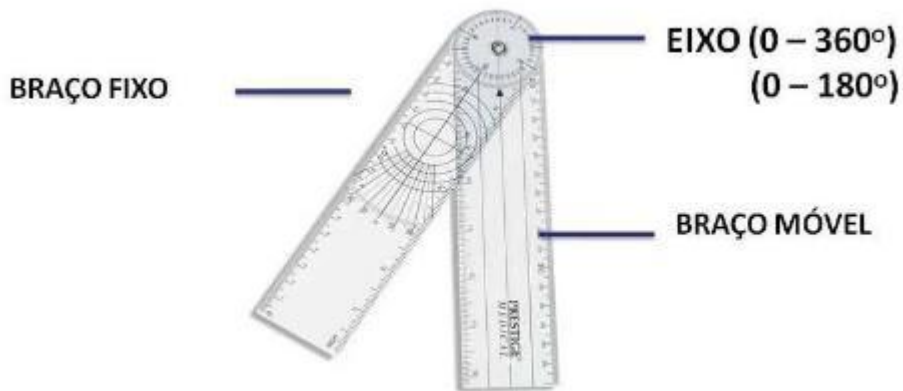


Figura 1 - Goniômetro Universal

2.2.1 Abdução e adução do ombro

O movimento ocorre no plano frontal. A abdução da articulação gleno-umeral é acompanhada por elevação clavicular, seguida por rotação lateral do úmero (Figura 2). Os graus de Amplitude articular normais para o nível de abdução variam entre 0° e $170/180^\circ$ (JOÃO, 2011).

2.2.2 Flexão e extensão do cotovelo

A articulação do cotovelo é uma articulação em dobradiça uniaxial. O movimento ocorre no plano sagital. O movimento de extensão é considerado o retorno da flexão (Figura 2). Os graus de Amplitude Articular normais para o nível de flexão variam entre 0° e $140^\circ/150^\circ$ (JOÃO, 2011).

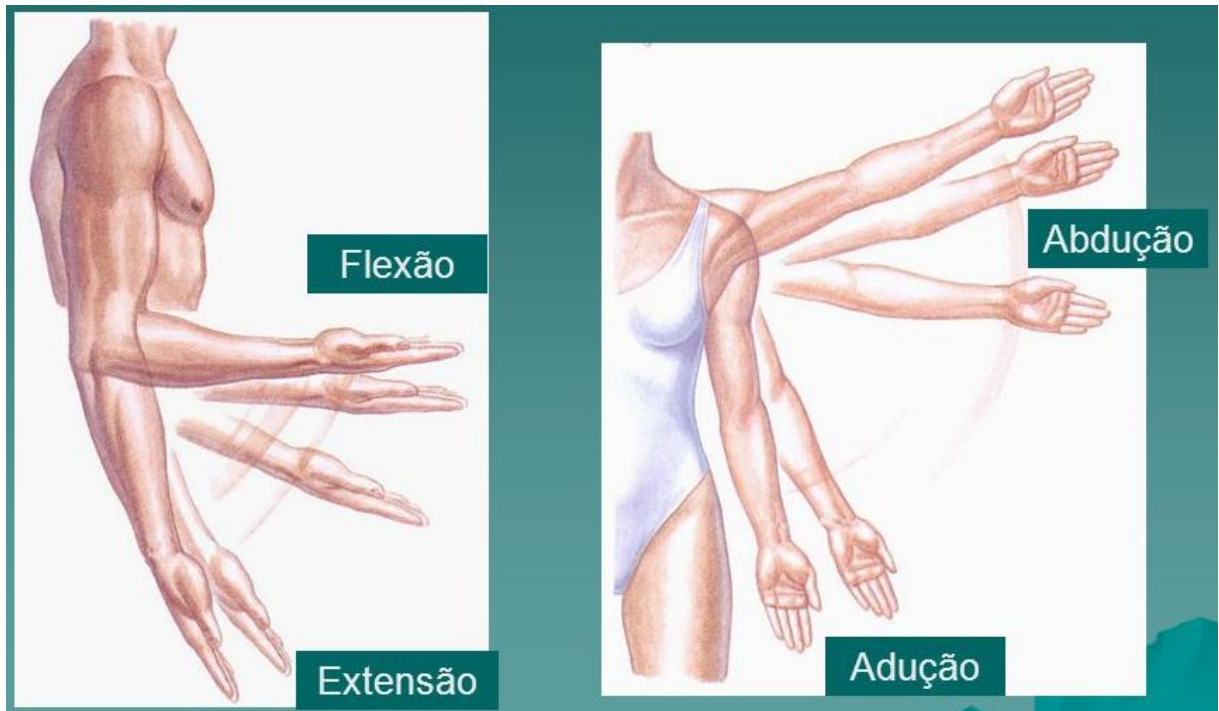


Figura 2 - Movimento de Abdução e Flexão dos Braços

(Fonte: Disponível em: <http://slideplayer.com.br/slide/76751/> Acesso em Jan, 2015)

2.3 Neurônio Espelho

Os neurônios espelho pertencem a uma classe de neurônios viso-motores descobertos a partir de estudos com macacos (RIZZOLATTI, 2004), que são relacionados a movimentos da boca e mão tais como morder, rasgar, pinçar, pegar ou agarrar objetos e se ativam a partir da execução ou observação da ação. Os neurônios espelho permitem durante o ato da observação das ações de outros indivíduos, simular mentalmente aquilo que foi observado e posteriormente repetir o movimento.

A importância dos neurônios espelho para este trabalho reside no fato de que a observação de uma ação de um indivíduo é capaz de induzir a ativação do circuito nervoso responsável pela execução daquela mesma ação possibilitando a sua execução automaticamente por parte do observador (Figura 3). (RIZZOLATTI, 2004; BUCCINO, 2006).

Os neurônios espelho são de grande interesse pela comunidade de médicos e fisioterapeutas, que tratam de pacientes com sequelas motoras decorrentes de danos cerebrais tais como a hemiplegia (BUCCINO, 2006). As sequelas destes pacientes podem ser reduzidas dependendo da situação do paciente, até certo nível, através da fisioterapia e da plasticidade cerebral, que é a propriedade do sistema nervoso que permite o desenvolvimento de alterações

e adaptações estruturais em regiões afetadas do cérebro baseada na experiência e repetição de estímulos. Em outras palavras, regiões diferentes do cérebro assumem funções que foram prejudicadas, criando assim uma alternativa para retomá-las (PIOVESANA, 1999). A plasticidade cerebral pode ser relacionada com a neurogênese que é o processo de regeneração do cérebro a partir da criação de novos neurônios associados com o aprendizado (ERIKSSON, 1998).

A neurogênese é regulada por moléculas do sistema nervoso chamadas de fatores de crescimento. No caso de pacientes com acidente vascular cerebral, os novos neurônios formados migram do hipocampo, parte do cérebro onde estas novas células nascem, para uma região destruída pela falta de oxigênio do cérebro para então recuperá-la. Apenas algumas conseguem migrar, mas as que se estabelecem criam conexões com outros neurônios para restabelecer funções previamente comprometidas (CAMERON, 1998).

A reorganização promovida por todas estas modificações pode ser observada clinicamente em pacientes, e demonstram que um indivíduo pode recuperar habilidades desenvolvidas anteriormente de forma lenta e gradual através dos tratamentos a ele aplicados, mas que depende do treinamento intensivo durante longo tempo (BUCCINO, 2006).

Contudo, ainda não se possui o conhecimento necessário sobre células-tronco neurais e neurogênese para controlar a geração de novos neurônios para recuperar áreas afetadas. Porém, os neurônios espelhos podem promover um aceleração no processo de reaprendizagem dos movimentos perdidos (BUCCINO, 2006).

Ao utilizarmos modelos humanóides, ou avatares, na tela de um jogo, podemos estimular a coordenação dos pacientes como um aquecimento para a realização do exercício. Assim, em uma tela de jogo que apresenta dois personagens, o paciente pode ser estimulado ao ver os movimentos do seu próprio personagem, ou aos movimentos realizados pelo segundo personagem, que podem representar o profissional da fisioterapia ou ainda a outro paciente que já consegue realizar o exercício proposto.

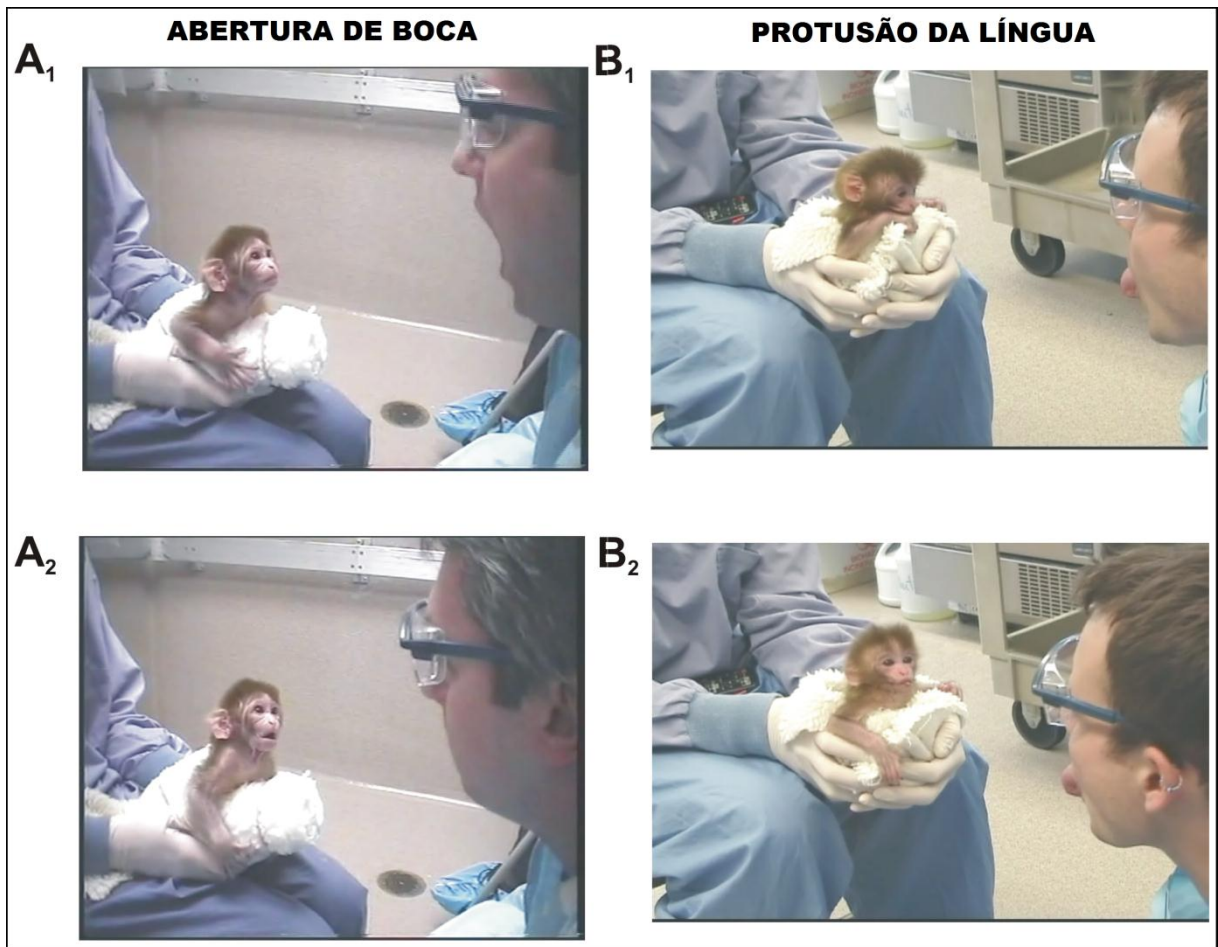


Figura 3 - Demonstração do funcionamento dos neurônios espelho em macacos

(Fonte: Disponível em: < http://versiercoach.nl/new/wp-content/uploads/2014/03/journal.pbio_.0040302.g004.png Acesso em Junho, 2014)

2.4 Biofeedback

O *biofeedback* é umas das áreas da medicina comportamental que vem se expandindo rapidamente. O tratamento por *biofeedback* permite que a pessoa regule voluntariamente seus hábitos e reações a partir de sinais visuais ou sonoros. Este método é comumente utilizado em seções de fisioterapia para avaliar e orientar o paciente a partir do retorno das informações que é obtida através de aparelhos e sensores que podem medir diversos processos fisiológicos tais como pressão arterial, atividade cerebral, frequência cardíaca entre outros. O método pode ser usado para o tratamento de diversas doenças como, por exemplo, dores crônicas, problemas cardiovasculares, artrite e fibrosite (OONAGH, 2013).

O *biofeedback* divide-se em algumas categorias relacionadas com o tipo de doença (Figura 4). Dividindo-se, portanto em *biofeedback* fisiológico e biomecânico. Abordamos

neste trabalho o *biofeedback* biomecânico por se adequar as características do Kinect. (OONAGH, 2013).

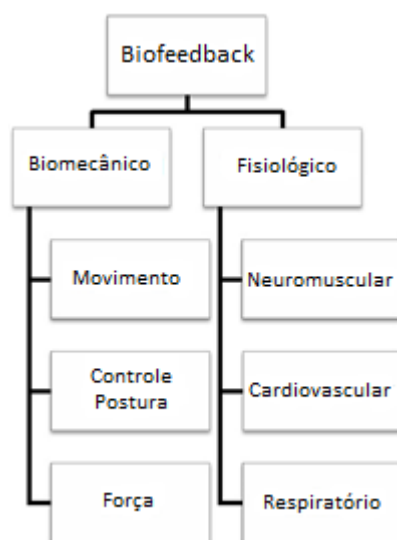


Figura 4 - Tipos de *Biofeedback* (OONAGH, 2013)

2.5 Biofeedback biomecânico

O *biofeedback* biomecânico envolve a medição do movimento, controle de postura e forças produzidas pelo corpo (OONAGH, 2013). Portanto o Kinect pode representar uma alternativa para a obtenção de dados relevantes para a análise devido a sua capacidade de mapear as articulações do corpo de até dois jogadores. As câmeras auxiliam os fisioterapeutas a examinar a movimentação quantitativamente, além da possibilidade da aprendizagem do uso do jogo como ferramenta de aprendizagem ou tutorial para que o paciente possa aprender vendo como se joga (GILMORE, 2007) Com base nestes aspectos, é possível utilizar o Kinect para analisar a posição ideal dos membros superiores do paciente através das suas articulações para realizar a medição da abdução e adução, bem como a extensão e flexão dos movimentos de flexão.

Pode-se também proporcionar através de uma área lateral da tela do jogo, uma pequena região com informações relevantes de *biofeedback* através de um personagem em forma de esqueleto, pelo qual o fisioterapeuta ou o próprio paciente podem observar os resultados da sua movimentação em tempo real (Figura 5). Com base nestes números, o fisioterapeuta responsável pela aplicação do jogo, pode visualizar e analisar a evolução do tratamento, bem como corrigir possíveis erros de movimentação ou desvios posturais apresentados durante o jogo. Neste menu lateral, introduzido no jogo, é possível que o fisioterapeuta ajuste aspectos dinâmicos do jogo para adaptá-lo as necessidades ou nível de

experiência do jogador. Encontram-se, portanto disponíveis o tempo de duração do jogo, distância máxima nas regiões onde as frutas são criadas e altura do cesto onde depositam-se as frutas.



Figura 5 - Tratamento por Biofeedback Biomecânico

(Fonte: Disponível em: <https://tathianatrocoli.wordpress.com/category/tecnologia-para-reabilitacao/>
Acesso em Junho, 2014)

2.6 A Dinâmica Multi Jogador

A dinâmica *multiplayer* é uma característica comum, encontrada em jogos na maioria das plataformas existentes e que pode ser implementada de várias formas. Os modos de implementação do *multiplayer* podem variar de acordo com a necessidade de cada sistema de jogo como, por exemplo, a competição, a cooperação ou ainda modos de jogo simultâneos que não necessariamente tem influência direta de um sobre o outro, como por exemplo em jogos *multiplayer* online, onde cada jogador pode construir seus objetivos individuais e ao mesmo tempo colaborar para a comunidade do jogo. De acordo com diversos especialistas e desenvolvedores de jogos, as mecânicas *multiplayer* podem aumentar o engajamento e a

motivação dos jogadores nos jogos, porém as evidências empíricas são limitadas (PENG, 2012).

De acordo com (PENG, 2012), se um jogo tem como alguns de seus objetivos, motivar e engajar jogadores, o modo cooperativo deve ser incluído no projeto. A cooperação é um dos mais importantes mecanismos quando desejamos aumentar a motivação (VORDERER, 2003). Estudos mostram, no entanto, que a competição pode ser tanto positiva quanto negativa dependendo do foco do jogo, como por exemplo estudos com jogos do Wii Fit™ (SONG, 2010).

2.7 Problemas e Riscos em Jogos Decorrentes de Exercícios Mal Executados ou Posição Inadequada

Durante o desenvolvimento dos jogos deste trabalho, uma das preocupações levadas em consideração era a possibilidade de que movimentos ou posições adotadas pelos jogadores pudessem interferir negativamente na recuperação dos pacientes. Um dos requisitos recomendados foi a inclusão da opção para se utilizar os dois braços para alcançar os objetivos pois recomenda-se, que o membro não afetado deve ser utilizado no auxílio da tarefa quando ainda não se tem total controle dos membros debilitados. Geralmente o retorno motor nos membros superiores afetados é inadequado, assim é indicado que o paciente treine a extremidade afetada apenas como membro auxiliar, portanto o jogo permite que durante a partida, o paciente utilize os dois membros que podem agir de forma independente para alcançar os objetivos ou de forma conjunta.

Foi observada a necessidade de que o exercício proposto não reforçasse o padrão anormal do paciente hemiplégico, que se caracteriza neste caso na tendência de flexão inadequada do membro superior bem como na flexão lateral do tronco comprometido e ao braço permanecendo muito próximo ao corpo. Para atender a este requisito, foi introduzido no jogo uma região onde os objetos a serem alcançados no jogo são criados (*Spawn Points*) em lugares pseudo-aleatórios de acordo com a distância escolhida.

3 JOGOS SÉRIOS

O recente desenvolvimento das tecnologias gráficas e de hardware de computadores tem dado imenso suporte ao desenvolvimento de diversos tipos de jogos de computadores atingindo outras áreas, tornando-se uma nova força cultural, econômica e educacional. São capazes, de atingir diversos grupos de pessoas tais como crianças, adultos e idosos. Além disso, podem ser utilizados para o tratamento de pacientes e aprendizagem de alunos, ultrapassando o seu propósito original de ser apenas uma forma de entretenimento (ALAMRI, 2014).

Um jogo sério refere-se aos jogos utilizados para treinamento, propaganda, simulação, medicina ou educação que são desenvolvidos para serem utilizados em computadores ou consoles. O objetivo dos jogos propostos neste trabalho é utilizar-se da temática de jogos virtuais sérios para promover melhorias no tratamento de pacientes vítimas de AVC.

Jogos e simuladores são largamente utilizados na aprendizagem da medicina, e também na sua aplicação para pacientes, através de jogos com propósitos de exercícios físicos ou *exergames*, e jogos classificados como jogos para medicina (PELLETIER, 2015). Jogos sérios para a saúde são projetados para entreter pacientes ao mesmo tempo que são utilizados para modificar algo em seu tratamento (THOMPSON, 2010).

3.1 Interfaces naturais

Interface natural ou NUI (*Natural User Interface*) é o termo comum usado por designers e desenvolvedores de interfaces de computador para se referir a interfaces de usuário que são invisíveis ou imperceptíveis ao usuário. Este tipo de interface diferencia-se das interfaces normais de interação com sistemas por utilizar como entrada movimentos e ações reais e naturais dos usuários, como gestos corporais, comandos de voz, ou ainda reconhecimento de expressões faciais e olhos.

A interação natural ganhou popularidade com a introdução de novos equipamentos e jogos orientados a movimentação, em especial os apresentados pelo dispositivo de jogos *Nintendo® Wii™* e seu controle *Wii remote* e do *Microsoft® Xbox360™* e o dispositivo de reconhecimento de movimentos *Kinect™*, expandindo-se rapidamente para diversas áreas como a educacional e médica, possibilitando também a adaptação destas tecnologias em

sistemas de diversas outras áreas como sistemas de visualização em ambientes hospitalares, câmeras de segurança inteligentes entre outros.

Atualmente, NUIs são muito utilizadas na reabilitação, gerando pesquisas e aplicações que contribuem para o desempenho e recuperação de pacientes, facilitando a avaliação do progresso do paciente (REGO, 2011). A fisioterapia baseada em interfaces naturais tem um contexto concreto, desafiador e funcional para os pacientes, trazendo um benefício direto, tanto para o paciente quanto para o fisioterapeuta pela capacidade de adaptação destes sistemas. Tecnologias disruptivas são usadas para produzir ambientes interativos e multidimensionais simulados. Os dispositivos visuais, como monitores e dispositivos de hardware para rastreamento de corpos, entre outros, são importantes para a integração dos pacientes com um ambiente virtual e proporcionar meios de interagir com o ambiente de acordo com as metas de reabilitação.

A utilização das NUIs também pode ser considerada por proporcionar algo mais divertido e atraente do que o conjunto tradicional de exercícios. Um sistema de jogos pode oferecer uma variedade de oportunidades para realizar tratamento através de diferentes habilidades físicas, dependendo de qual jogo é selecionado.

3.1.1 Jogos Baseados em Exercícios Físicos

O termo *exergame* é utilizado para designar jogos que são ambos um jogo de computador e um meio de exercício ou treinamento físico. Para realizar a integração entre o virtual e o exercício real, os *exergames* têm como tecnologia de entrada dispositivos de reconhecimento de movimentos corporais como o *Microsoft® Kinect™*. Um *exergame* interpreta os movimentos corporais do jogador como comandos de entrada, associados com um significado específico para a jogabilidade, traduzindo os comandos do espaço real para o digital apresentado na tela.

As habilidades obtidas em um *exergame* podem ser transferidas para outras atividades, beneficiando assim o desenvolvimento físico, social e cognitivo do jogador. Devido a distância da tela, o jogador precisa utilizar habilidades visuo-espaciais, coordenação motora e reflexos para jogar e atingir os objetivos propostos de modo adequado. Além disso, é possível a utilização de dinâmicas *multiplayer*, para competir ou cooperar em uma equipe, proporcionando interações sociais virtuais e reais (STAIANO, 2011).

Muitos profissionais fisioterapeutas aplicam jogos comuns baseados em interfaces naturais em tratamentos específicos com a finalidade de motivar os pacientes. Neste caso

podemos encontrar alguns estudos que mostram a adaptação dos tratamentos para utilizarem-se destes sistemas de jogos, como em DEUTSCH (2008), onde cada tipo de jogo é descrito com relação a um objetivo fisioterapêutico.

3.2 Design de Jogos

O design de jogos ou game design vem sendo desenvolvido através das gerações, durante o processo de criação de diversos jogos e passatempos brilhantes, sem chamar muita atenção para este processo (SALEN, 2003). Os jogos atléticos ou de tabuleiro, para jovens ou adultos, podem ser definidos de várias formas segundo diversos autores (CAILLOIS, 2001; SALLEN, 2003; CRAWFORD, 2003). Contudo todos os jogos são descritos através de atividades com regras específicas e que tem a finalidade de divertir e entreter seus jogadores.

Segundo SCHELL (2014), design de jogos pode ser definido como: “Game design é o ato de decidir o que um jogo deve ser.” O design de jogos trata de projetar o jogo, elaborar regras, definir temas, enredos, criar mecânicas, assim como planejar o desenvolvimento do mesmo, sendo mais bem traduzido como a planta baixa da construção de um jogo.

Os computadores atuais têm como característica principal a sua responsividade, a qual é vital para a interação com qualquer jogo virtual. O computador pode sustentar os mais variados tipos de jogos, porém tem como sua fraqueza a entrada e saída. Por maior que seja a capacidade de cálculo de um computador, os jogos devem ser projetados para trabalharem através de suas interfaces para não serem arruinados por equipamentos defasado que prejudiquem a interação. No jogo desenvolvido neste trabalho um tipo especial de interface de entrada foi utilizado através do *Kinect*TM. Para isso, todo o processo de design foi voltado para melhorar a interação entre homem e máquina através deste dispositivo.

Atualmente desenvolvedores de jogos digitais tem incorporado mais técnicas sofisticadas de feedback durante o design de jogos (SALEN, 2003). Estas técnicas permitem que o jogo se adapte as habilidades dos jogadores dinamicamente. Quando pensamos em jogos clássicos, não temos tradicionalmente um ajuste para jogadores inexperientes, como por exemplo, o futebol ou o xadrez, deixando que os jogadores aprendam com seus erros, motivados pela competição, para melhorar no jogo e encontrar novas habilidades e novas maneiras de jogar (SALEN, 2003).

Jogos de computador atuais podem modificar-se através da aprendizagem do jogador, aumentando sua dificuldade e tentando assim ponderar entre motivação e o desafio, sem deixar o jogo nem fácil e nem difícil demais para manter o jogador estimulado.

Contudo, quando falamos em um jogo para a reabilitação, precisamos levar em consideração as limitações dos pacientes. Além disso, é importante considerar que o jogo está sendo utilizado com a finalidade de auxiliar o fisioterapeuta durante um tratamento.

A motivação pode ser um fator chave para o sucesso de um jogo, porém deixar que o jogo escolha sozinho o nível de dificuldade pode ser ao mesmo tempo perigoso e desmotivador. Um *exergame* pode se tornar um risco para um paciente quando este tenta realizar movimentos para alcançar objetivos traçados pelo jogo, mas que estão além de suas capacidades motoras, podendo prejudicar seu tratamento. Além disso o jogo torna-se desmotivador pelo fato de o jogador não conseguir alcançar tais objetivos propostos (SALEN, 2003). Para o caso do jogo apresentado neste trabalho, foi idealizado um sistema em que o fisioterapeuta ou operador do jogo deve selecionar os modos de dificuldade, através do estudo do estado do paciente.

3.2.1 Documento de Concepção de Jogos

O documento de concepção de jogos ou *Game Design Document* (GDD), é um arquivo usado para se realizar o detalhamento técnico do jogo, tanto do ponto de vista conceitual quanto tecnológico. O principal objetivo de um GDD é proporcionar ao desenvolvedor do jogo a documentação necessária para que o projeto planejado seja executado corretamente e sem surpresas.

Outros tipos de documentos podem fazer parte durante do planejamento de produção de um jogo tais como, por exemplo, documento de arte e design, plano de teste de software, propostas de jogos e planejamento para redução de riscos. Todos são utilizados para reduzir o tempo perdido por confusão ou falta de detalhamento dos passos a serem seguidos (GAMASUTRA, 1999).

Um GDD deve descrever toda a parte conceitual de um jogo bem como demais características que devem ser levadas em consideração na criação daquele jogo em específico. Portanto um GDD deve apresentar elementos e descrições detalhadas de elementos como história do jogo, elementos visuais, modelos, personagens, mecânicas de jogo, objetos, escopos, modos de jogo, *gameplay* e tudo o que possa ajudar os desenvolvedores e artistas a expressar suas habilidades durante o desenvolvimento. Outras informações tais como especificações necessárias dos equipamentos utilizados, público alvo, análise de risco entre outros podem ser adicionados ao GDD para facilitar o trabalho dos produtores do jogo (BETHKE, 2003).

Um GDD foi desenvolvido para servir de guia durante o processo de criação dos jogos apresentados neste trabalho e pode ser contemplado no Apêndice A.

3.3 Descrição do Jogo e Requisitos

Para o desenvolvimento deste jogo, houve a colaboração com a ala de reabilitação do HUSM-UFSM. Através da observação dos pacientes foi possível verificar as rotinas e adquirir os requisitos necessários para a criação do jogo. O objetivo geral da criação deste jogo é verificar o melhoramento da abdução e extensão dos membros superiores dos pacientes, além de analisar a influência à motivação e aos resultados dos modos *multiplayer* durante as seções de jogos. Consideramos a seguinte lista de requisitos descritos como importantes segundo a análise dos profissionais da fisioterapia

- O jogador precisa se reconhecer como um personagem da cena de jogo, de preferência através de um personagem humanoide. Ou seja, um jogo em terceira pessoa;
- Os objetivos precisam ser de fácil reconhecimento por parte do jogador;
- São necessários lugares para se guardar os objetos, coletados em ambos os lados do paciente para que este possa trabalhar com os dois braços a fim de se utilizar o braço dominante e não dominante;
- O paciente precisa coletar os objetos de forma aleatória, desta forma as maçãs devem aparecer em lugares distintos na área de criação das frutas;
- O ambiente precisa ser amplo para que não haja interferência ou impedimento de movimentos;
- Jogadores precisam ser colocados na posição correta para que o dispositivo de reconhecimento seja calibrado e os comandos reconhecidos;
- A interface deve ser limpa e bem estruturada para que o jogador e fisioterapeuta possam interagir com facilidade;
- As posições, bem como ângulos relativos as partes do corpo do jogador precisam ser exibidas em uma área auxiliar da cena de jogo para que o fisioterapeuta possa corrigir o movimento do jogador caso seja necessário;
- O jogo deve apresentar controles de dificuldade para que o fisioterapeuta possa ajustar o jogo de acordo com o nível de mobilidade do paciente que são: controle de distância entre as frutas e o personagem, altura dos cestos, tempo de jogo e velocidade do aparecimento de frutas;

- O jogo precisa de um contador de tempo e de um contador de frutas coletadas para que se faça o comparativo de pontuação entre os jogadores.

O jogo foi dividido por cenas, onde cada cena representa um modo de jogo, além de uma cena principal que será responsável pelo menu principal do sistema. A cena inicial do sistema abriga os modos de jogo criados, além de outros possíveis modos ou fases que poderão ser desenvolvidos posteriormente. Sua função é possibilitar que o fisioterapeuta escolha o modo de jogo adequado para a condição do jogador. O sistema de jogos apresenta um modo *singleplayer*, onde o paciente joga sozinho colhendo o máximo de frutos possíveis em um determinado tempo. Apresenta também um modo *multiplayer*, onde o objetivo do jogo também não se altera, porém é introduzida a perspectiva competitiva onde os dois participantes devem colher o máximo de frutos possíveis. O ganhador será aquele que colher mais frutas.

Um caso de uso é descrito na Figura 6

Caso de uso para o jogo do pomar/fazenda

O jogo começa com a escolha do modo de jogo a ser utilizado. Pode ser escolhido o modo *singleplayer*, para apenas um jogador, ou *multiplayer* para dois jogadores em competição. Também deve-se escolher o tempo de duração do jogo.

Após o fisioterapeuta escolher o modo de jogo, ele deve posicionar corretamente o jogador para que o dispositivo *Kinect* possa ser calibrado. O jogador deve ser posicionado na distância adequada para que todo seu corpo apareça na tela da câmera, que também é mostrada na cena do jogo através de uma janela auxilia no canto inferior esquerdo, para controle do fisioterapeuta.

O jogador então começa a jogar. Ele deve levar o braço do personagem humanoide até alcançar uma das frutas que deseja colher. As frutas são criadas e ficam posicionadas em uma árvore que fica à frente do personagem. O jogador deve então devolver a fruta coletada a um dos cestos indicado pelo jogo. O jogo termina quando o tempo definido previamente acaba. Assim são exibidos ao paciente e fisioterapeuta seus resultados como a quantidade de frutas coletadas durante a partida e fruta mais distante alcançada.

O fisioterapeuta avalia em tempo real a posição adequada dos membros superiores do jogador e angulações por ele obtidas através de um personagem esqueleto que é exibido na parte lateral da tela.

Os resultados de abdução lateral e flexão são então armazenados pelo sistema para posterior avaliação e comparação com resultados de partidas anteriores.

Figura 6 - Caso de uso do jogo

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Processo de desenvolvimento dos jogos

4.1.1 O Kinect

O dispositivo de reconhecimento de movimentos *Kinect* foi desenvolvido pela empresa estadunidense *Microsoft Corporation* em cooperação com a empresa de sensores *PrimeSense*. Inicialmente o projeto tinha como objetivo principal a integração com a plataforma de jogos *Xbox360™* da *Microsoft®*, permitindo que os jogadores não mais necessitassem de controles físicos, fazendo uso de gestos, através do uso de interfaces naturais, ou comandos de voz para controlar os jogos da plataforma. O dispositivo foi lançado oficialmente no final de 2010 contando com 17 jogos inicialmente, que possuíam recursos que possibilitavam sua utilização (THR, 2014).

Durante o desenvolvimento do *Kinect*, vários jogos foram avaliados quanto a sua usabilidade com o novo dispositivo, porém os testes demonstraram que os jogos testados precisariam de uma significativa quantidade de alteração em seus códigos para que pudessem utilizar corretamente as características do dispositivo. Deste modo o *Kinect* seria mais bem aplicado em novos jogos já adaptados ao software e funcionamento do aparelho, tendo em vista suas características.

O *Kinect* foi criado para explorar a nova tendência do uso de controles baseados em sensores de movimento, presentes nos principais concorrentes do *Xbox360™*, como o *Playstation Move™* da *Sony®*, e o *Wii remote* da *Nintendo®*. Porém, os dispositivos concorrentes ainda necessitavam de um controle físico, com acelerômetros que rastreavam a movimentação através de uma do movimento conjunto com as mãos do utilizador, sendo o *Kinect* o único a não necessitar que o jogador utilizasse ou carregasse qualquer dispositivo, sendo necessário apenas que se posicionasse em frente à área de detecção do *Kinect*.

4.1.1.1 Hardware

O *Kinect* é um aparelho de baixo custo, que conta com diversos recursos de hardware reunidos para realizar a captura de movimentos e gestos. Os recursos descritos abaixo são apresentados na Figura 7 (CRAWFORD, 2014).

- Câmera de cores RGB - 640x480 Pixels a 30FPS, a 30Hz;
- Sensor de profundidade com sensor Infravermelho - 320x240 Pixels a 30FPS, a 30Hz;
- *Array* de Microfones 3D embutidos no aparelho para reconhecimento de voz;
- Processadores e acelerômetros próprios;
- Motor de inclinação.

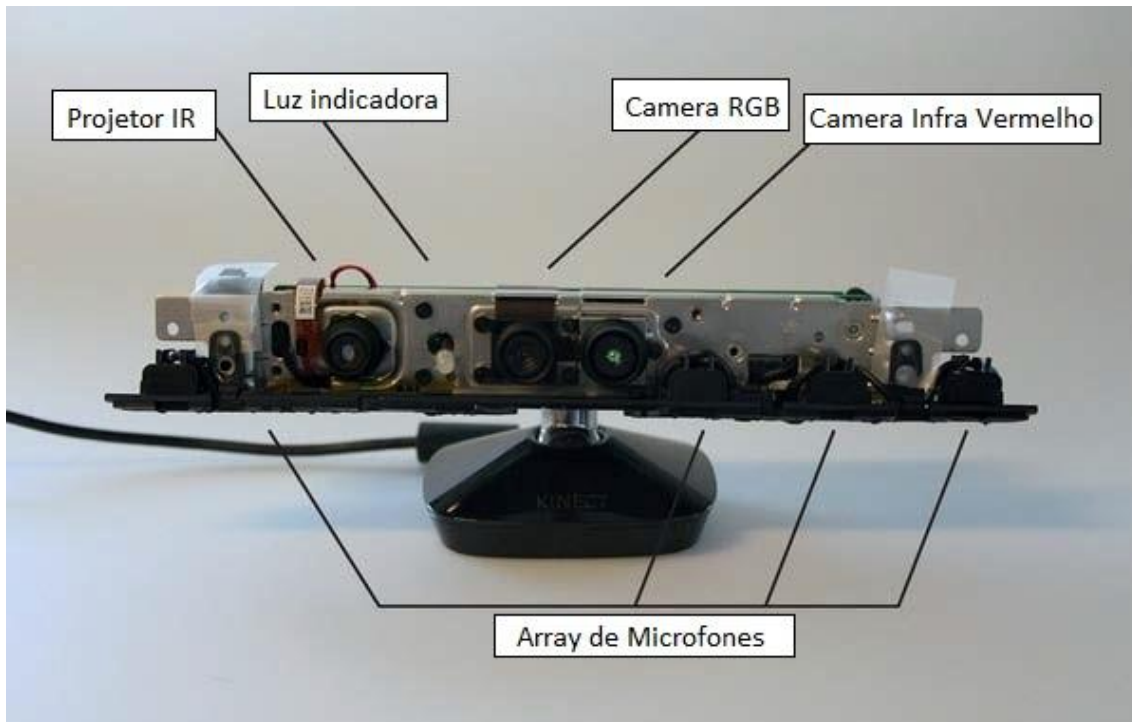


Figura 7 - Componentes do *Microsoft Kinect*

(Fonte: Disponível em: <http://fizzible.com/wp-content/uploads/2014/11/kinect1.jpg> Acesso Janeiro, 2014)

Para que ocorra o funcionamento correto do dispositivo uma distância mínima necessária deve ser mantida por parte dos usuários como demonstrado na Figura 8. A distância de operação ideal do aparelho encontra-se entre 1,2 e 3,5 metros, sendo a área exigida para a sua utilização de 6 metros quadrados. O sensor tem um campo de visão de 57° horizontalmente e 43° verticalmente, além disso, o motor interno é capaz de operar uma alteração na angulação do sensor de até 27° para cima ou para baixo (CRAWFORD, 2014).

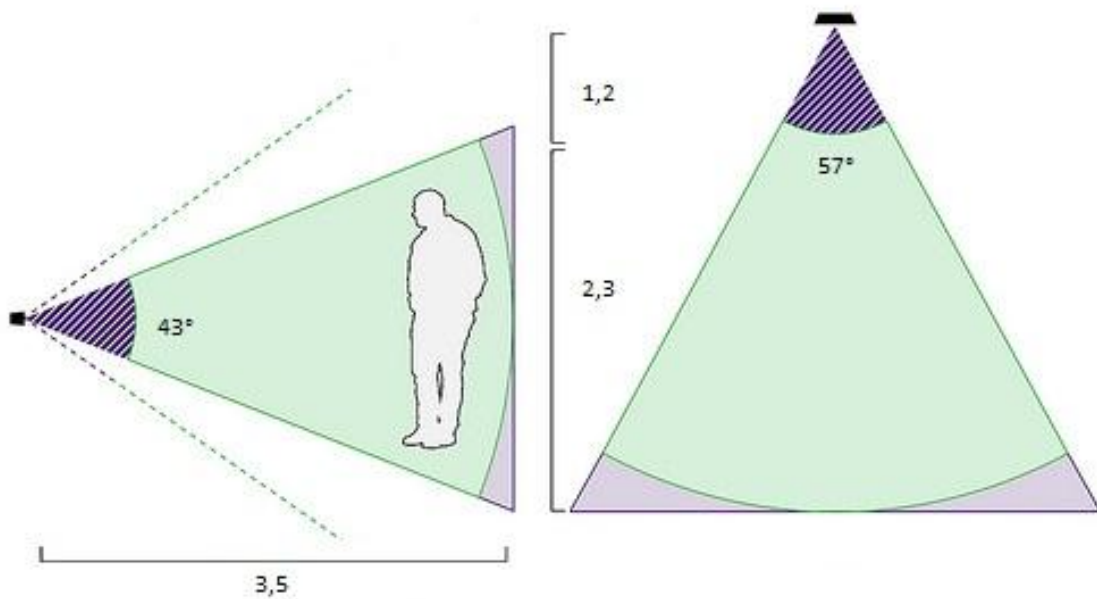


Figura 8 - Ângulo de visão *Kinect*

(Fonte: http://farm7.static.flickr.com/6194/6049863310_ffecd2e856.jpg)

O *Kinect* capta a imagem e seu processador interno localiza e reconstrói as informações do esqueleto, definindo as regiões do corpo do usuário, por posições das articulações. O esqueleto virtual é formado por vinte articulações mapeadas. O *Kinect* pode rastrear até quatro pessoas ao mesmo tempo. Devido às limitações de hardware, pode mapear as articulações de apenas dois jogadores (CRAWFORD, 2014).

4.1.1.2 Kit de Desenvolvimento de Software do Kinect

A introdução do *Kinect* em conjunto com o seu próprio kit de desenvolvimento (SDK) para Microsoft Windows® facilitou o processo de criação para os desenvolvedores por ser uma ferramenta completa e com desenvolvimento e suporte constantes por parte da Microsoft. O SDK traz em seu conteúdo os drivers do dispositivo e as bibliotecas para o desenvolvimento dos códigos, utilizando principalmente a linguagem C - Sharp (C#), além de exemplos de aplicações para se utilizar em conjunto com o *Kinect* (Figura 9).

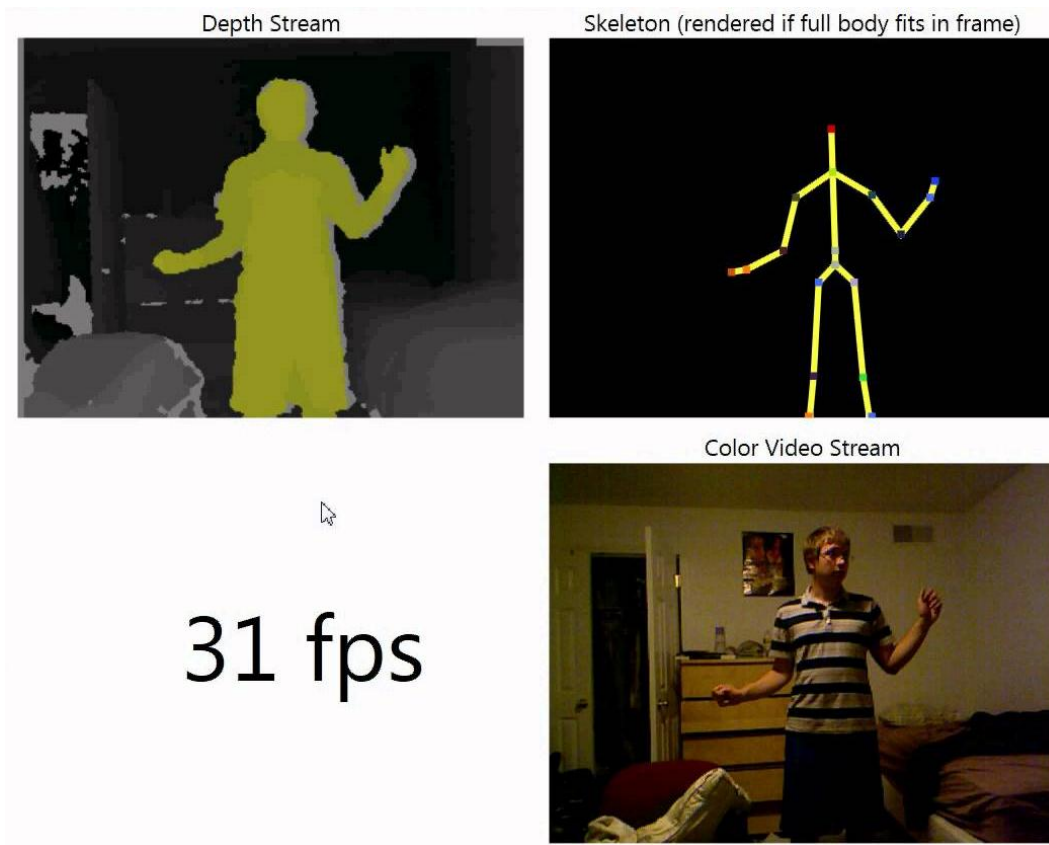


Figura 9 – Imagens obtidas através das câmeras do dispositivo em conjunto com o SDK

(Fonte: Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=YTbvjLGDluY> Acesso em Dez., 2014)

4.1.2 Motores de jogo

Os motores de jogo são essenciais para o desenvolvimento de jogos, pois são responsáveis por organizar e facilitar os processos necessários para a criação de jogos, como por exemplo, criar objetos, terrenos e ambientes, adicionar texturas, controlar elementos físicos como colisões, vento e água, interações entre elementos dos jogos além de elementos gráficos como luz, sombras e fumaça.

Uma *Game Engine*, pode ser um framework de software ou uma API, que contém conjunto de bibliotecas com funções e demais características necessárias para simplificar a criação de jogos eletrônicos 3D. As *Game Engines* permitem que o programador possa desenvolver jogos sem se preocupar em desenvolver várias funções necessárias para a criação de jogos, como por exemplo, cálculos matemáticos complexos de sombreado e iluminação, física entre objetos, movimentação, colisões, networking e sons facilitando e tornando mais rápido o desenvolvimento dos jogos, fazendo uso da abstração de *hardware*. Os motores gráficos são desenvolvidos com base em APIs populares existentes como

OpenGL, *DirectX*, *Mantle*, que já contém algoritmos e cálculos avançados de otimização para utilização de hardware. A *Unity* pode ser considerada um *middleware*, por conter em sua composição diversos softwares, como motor de física e gráficos, que possibilitam aos criadores utilizar somente um software para todo o desenvolvimento (WARD, 2014).

As *Engines* modernas não servem apenas para a criação de jogos, mas podem ser utilizadas também para a criação de aplicações e programas para a engenharia e indústria, simulação como simuladores de aviação, treinamento militar, simulações de aerodinâmica, além de participar da gigante indústria dos filmes, com criação de cenários e de elementos físicos ou criação de elementos de ficção como personagens e objetos além é claro de animações.

Para a construção dos jogos deste trabalho, foi utilizado o software de desenvolvimento de conteúdos 3D *Unity*. A *Unity* é um motor de jogo criado pela *Unity Technologies*. Ela é atualmente utilizada na criação de jogos 3D para diversas plataformas como vídeo games e *smartphones*. Consiste de um editor de desenvolvimento e design além de um editor de códigos chamado *Monodevelop*, utilizado para o desenvolvimento dos scripts que são utilizados pelas mecânicas e objetos dos jogos (UNITY3D, 2014).

4.1.2.1 Motor de Jogo Unity

Para a criação dos jogos que serão apresentados neste trabalho, foi necessária a utilização de uma *Game Engine* que se adequasse aos requisitos do projeto disponibilizando a integração entre o dispositivo *Kinect* e seus *drivers* e o jogo, além de permitir a utilização de diversos modelos obtidos através da internet. Para tanto foi escolhida a *Unity* como motor de jogo principal para a construção dos protótipos e do jogo final (UNITY3D, 2014).

A *Unity* permite a integração dos jogos desenvolvidos com diversas plataformas existentes no mercado, dentre elas *Linux*, *Mac OS*, *Windows*, *smartphones* e plataformas de videogames, sendo ela a SDK padrão para criação de jogos da plataforma *Nintendo WiiU*. Também possibilita a criação de jogos para web browsers com a utilização do módulo de extensão (*plugin*) para navegadores da internet, *Unity Web Player* (UNITY3D, 2012).

A *Unity* é uma ferramenta rica em funcionalidades e apresenta um motor gráfico e um ambiente de desenvolvimento totalmente integrados, que facilitam o desenvolvimento de códigos e os testes destes. Apresenta também um grande número de aplicações para sombreamento (*shaders*) prontos para utilização além de disponibilizar a utilização de sombras em tempo real ou *baked* (pré-processadas). Disponibiliza também efeitos de alta

qualidade como HDR, utilizado para criar iluminação realista, oclusão de ambiente, efeitos de lentes entre outros. Permite o uso de objetos 3D de praticamente todos os modeladores atuais, como *Blender*®, *Maya*® e *3DStudio*® por exemplo, além de aceitar objetos convertidos de outros modeladores para os formatos aceitados pela *Unity*. Conta também com geradores automáticos de terrenos, árvores, partículas e partículas 2D, edição de texturas e mapas de iluminação (*lightmaps*) (UNITY3D, 2012).

4.1.3 Características e Componentes da Unity

A *Unity* é composta por diferentes componentes que são utilizados para controlar e modificar todos os elementos dos jogos criados.

4.1.3.1 O Editor

A interface do editor está disposta de modo a apresentar uma janela com própria cena do editor, uma tela de pré-visualização ou *preview*, uma aba com as pastas, diretórios e objetos do projeto, uma aba com os objetos dispostos na cena atual e finalmente um inspetor de objetos selecionados e suas propriedades. Todas as janelas são opcionais, podendo-se utilizar todas as cinco ao mesmo tempo ou apenas uma, a gosto do desenvolvedor.

O editor permite ao desenvolvedor montar o cenário ou fase do jogo, posicionar objetos, câmeras, iluminação e selecionar e verificar cada componente da cena. Funciona como um integrador entre as outras janelas. O editor principal mostra a cena do ângulo que for mais proveitoso ou interessante para o desenvolvedor para que ele possa visualizar e coordenar todos os elementos do jogo.

A guia de hierarquia apenas mostra todos os objetos presentes na cena, com seus respectivos objetos filhos. Também a guia Projeto mostra todas as pastas e arquivos do projeto facilitando a busca de elementos predefinidos, texturas e modelos.

O inspetor ou *inspector* de objetos mostra as opções do objeto selecionado pelo desenvolvedor no editor ou na aba de objetos da cena. Nesta janela pode-se adicionar Componentes a um *GameObject* e alterar todas as suas propriedades, como posição espacial, texturas, física, *scripts*, iluminação e efeitos especiais (Figura 10).

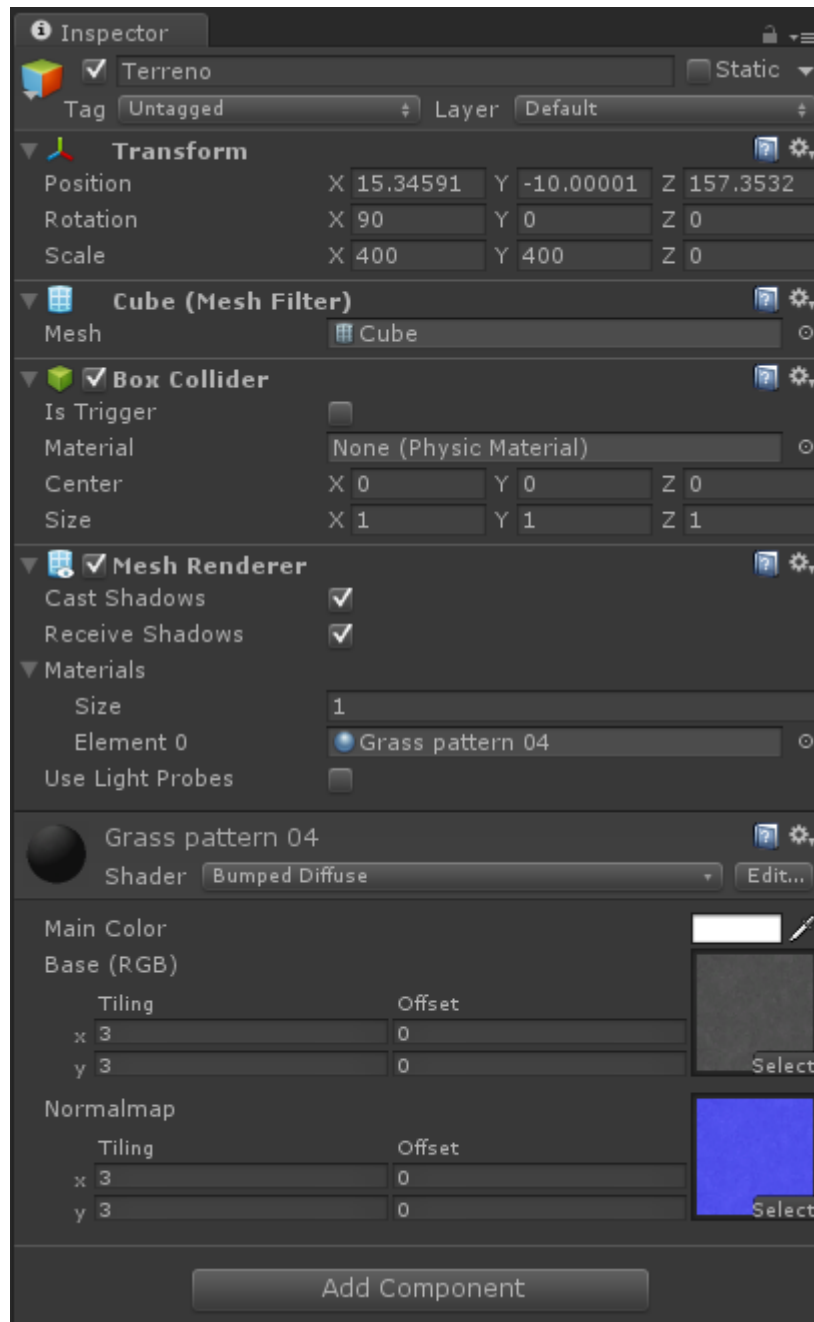


Figura 10 - Inspector de elementos de um objeto

A janela de pré-visualização ou *preview* permite que a visualização através da câmera da cena. Ou seja, esta janela mostra como o jogo será quando jogado, podendo-se ativar um modo teste para que o jogo possa definitivamente ser testado (Figura 11). A câmera principal pode ser definida de acordo com o tipo de jogo podendo ser uma simulação em primeira pessoa, ou um jogo do estilo de estratégia em tempo real, assim a opção de simulação do jogo é importante para que o desenvolvedor possa visualizar se objetos e demais elementos do jogo estão funcionando conforme o projetado.

A criação de jogos na *Unity* começa a partir da utilização de cenas. Cada cena, observada através do editor, agrega em sua constituição todos os elementos de uma tela do jogo, podendo a cena ser um cenário completo de jogo com todos os elementos, ou apenas um objeto que carrega o restante através dos scripts. Para que o conceito de cena seja compreendido precisamos entender como funcionam alguns conceitos apresentados na *Unity* e que nela são utilizados.



Figura 11 - Preview e Editor apresentando alguns componentes de edição da Unity

4.1.3.2 Objetos e Componentes

A *Unity* trabalha com um conceito simplificado de Orientação a objeto. Todos os objetos que são incluídos nas cenas de jogo são chamados de *GameObjects*. Esta nomenclatura será utilizada neste trabalho para descrever este tipo especial de objetos. No editor ao criar ou inserir um novo *GameObject* na cena, este passa a ter características únicas que podem ser alteradas utilizando-se o Inspetor de objetos da *Unity*. Cada *GameObject* pode conter além de suas informações básicas de localização na cena, componentes extras que o tornam único que são chamados componentes.

Os componentes são essenciais na criação dos jogos, pois é através destes que toda a mecânica do jogo funciona. Os componentes são facilmente adicionados aos *GameObjects* através da interface da *Unity* que foi desenvolvida para funcionar integrada aos objetos do mundo virtual (Figura 12).

Os componentes que apresentam a malha de polígonos dos objetos 3D são chamados *Mesh*. Estes componentes conferem aos *GameObjects* características de visualização do objeto na cena do jogo como por exemplo o componente *Mesh Renderer*, que contém todas as informações do modelo 3D utilizado como vértices e materiais, além de possibilitar a escolha de materiais e texturas a serem utilizadas pelo objeto. Na hierarquia da *Unity*, um material contém uma textura específica para um modelo de objeto. Se alterarmos a textura deste material, todos os objetos que utilizam aquele material terão sua textura alterada. Sempre que se deseja alterar uma textura de um objeto que é repetido deve-se criar um novo material e então alterá-lo no objeto desejado. Outro componente *Mesh* é o *TextMesh* o qual é uma ferramenta da *Unity* que possibilita a criação de textos 3D através da edição de suas propriedades no *inspector*, como texto apresentado, fontes e formatação.

O componente *Rigidbody* apresenta as características físicas do objeto a serem utilizadas pelo motor físico da *Unity* tais como massa, resistência ao ar (*drag*) de simulações aerodinâmicas, além de informações de uso de gravidade, proporcionando aos objetos uma movimentação mais realista nos jogos. Ele se adiciona ao componente *Mesh* do objeto, para que o corpo aplicado ao motor de física tenha forma correspondente ao seu modelo 3D. Ainda pode ser adicionado ao componente *collider* específico para completar a simulação de físicas e interação com outros objetos da cena.

Os componentes do tipo *Collider*, como o próprio nome diz, proporcionam a simulação de colisão entre objetos de uma cena. Este componente permite diferentes interpretações podendo dizer se um objeto colidiu ou encostou a outro que também possua um *collider* ou ainda atravessou o mesmo. Os *colliders* permitem realizar grande parte das iterações entre objetos de uma cena como mecânica de tiros, interação física com personagens e objetos. Os *Collider* não necessariamente seguem o mesmo modelo da *Mesh* como no caso do *Rigidbody*. Os *colliders* podem ser adicionados como, por exemplo, uma simples esfera ou cubo para que a mecânica se torne menos complexa e os custos computacionais caiam. Ainda *colliders* podem ser usados independentemente de *Meshs*, tornando-se assim uma ferramenta extra para interação com ambientes.

A iluminação assim como os *Colliders* também são componentes de objetos sem modelos 3D específicos que adicionados a cena adicionam ao jogo luzes com efeitos especiais já presentes na *Unity* e permitem a configuração de diversas propriedades como efeito de chama ou brilho (*flares*) e anéis luminosos geralmente associado à iluminação do sol (*halo*), e sombras.

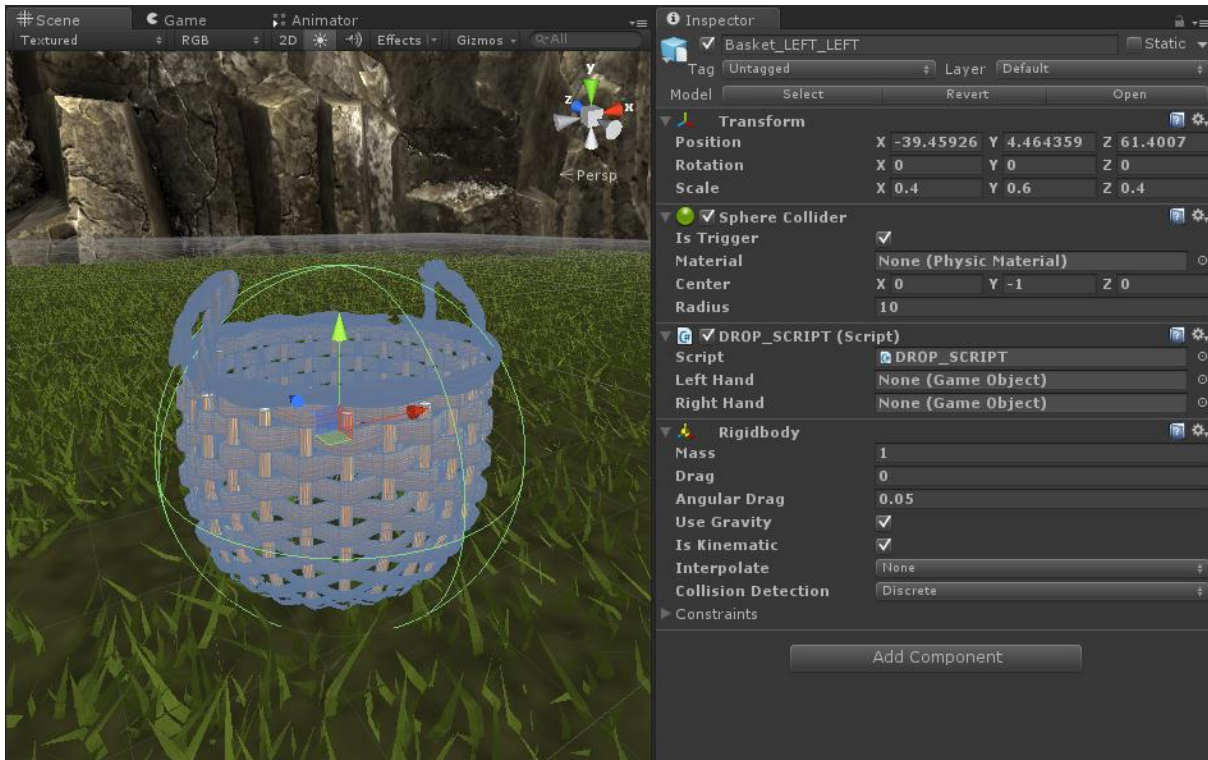


Figura 12 - Componentes de um objeto na *Unity*

4.1.3.3 Linguagem C-Sharp

A linguagem escolhida para o desenvolvimento dos jogos na *Unity* foi o *C-Sharp*. Foi concebida pela Microsoft como parte do projeto *.NET Framework* para ser sua principal linguagem. O *C-Sharp* foi escolhido, pois é de fácil utilização além de ser a linguagem nativa de desenvolvimento do *Microsoft Kinect* e também nativa para a escrita de scripts na *Unity*.

A linguagem tem codificação semelhante a *C* e *C++*, apresentando várias características derivadas dos mesmos. O *C-sharp* utiliza classes e funções do *framework .NET* que são acessadas através de um conjunto de *namespaces* que agrupam as classes com funções similares, como por exemplo *System.Collections* para estruturas de dados do sistema. O *C-sharp* diferencia-se de outras linguagens por não incluir nenhum conjunto de classes de funções (ECMA, 2006).

4.1.3.4 Script e a mecânica da orientação a objetos

Todos os componentes apresentados até agora, são adicionados aos objetos através do próprio editor do jogo e todas as mecânicas peculiares de cada um deles é executada pelos motores de jogo, motor de física ou *shaders*. Porém, há um tipo de componente essencial para a criação de qualquer jogo na *Unity*, que é o *Script*. A função do *script* é permitir ao

desenvolvedor programar e criar códigos específicos para ações ou comportamentos diferentes dos padrões que são disponibilizados pela *Unity*.

O script, assim como qualquer componente é adicionado aos *GameObject* através do editor. Os scripts assemelham-se com classes próprias que podem ser programados com funções modulares. Quando os scripts são adicionados ao *GameObject* eles tornam-se uma instancia daquele *script*. Assim temos uma orientação a objetos simplificada onde cada *GameObject* pode ter mais de um script executando diversas funções.

Os *scripts* contêm automaticamente uma função de inicialização de suas propriedades ou variáveis e uma função de atualização chamada *update*, a qual é chamada a cada quadro da aplicação.

4.1.3.5 Módulos de extensão

Além dos códigos possíveis de serem escritos através das bibliotecas padrões, a *Unity* disponibiliza suporte para a utilização de módulos de extensão ou *plugins*. Os *plugins* são bibliotecas de código nativo C, C++ ou *Objective-C* pelos quais as aplicações têm acesso a códigos de outros middlewares a fim de integrá-los aos códigos desenvolvidos na *Unity*, podendo-se assim utilizar outros dispositivos ou outros softwares para realizar funções específicas que independem da *Unity* (UNITY3D, 2014).

4.1.3.6 Conectando Kinect e Unity

A integração entre a *Unity* e o *Kinect* foi realizada por meio de um *plugin* gratuito e de código aberto desenvolvido pelo Centro de tecnologia de entretenimento da universidade de *Carnegie Mellon*. Este *plugin* tornou-se a referência pela sua simplicidade, eficiência, e permitir que o desenvolvedor utilize as características do *Kinect*. O *plugin* é escrito em C-sharp o que torna a compreensão do seu código mais rápida.

O *plugin* apresenta propriedades de ajustes para melhorar a precisão dos movimentos e ajustar a posição capturada pelo sensor para reduzir os erros. As propriedades são a suavização, corretude, previsão, raio de atraso e desvio máximo de raio. Todas estas propriedades tem um valor pré-definido, podendo ser alterado a desejo do desenvolvedor.

Outra característica é a capacidade de gravação dos movimentos realizados pelo *Kinect* durante o jogo. A gravação pode ser utilizada para animar personagens posteriormente.

O *plugin* do *Kinect* recebe as coordenadas de todas as 20 articulações as quais o *Kinect* é capaz de mapear e entrega variáveis que podem ser utilizadas com informações do mundo virtual da *Unity*. O *script* que realiza o mapeamento requer que outro *GameObject* seja definido como a articulação para que ela possa ser utilizada no mundo virtual.

Dois métodos para a utilização dos dados do corpo do jogador são disponibilizados para que o desenvolvedor possa escolher. O primeiro baseado no *script ModelController* é voltado para a utilização das informações dos dados do esqueleto com objetos sem ligação em comum.

O outro método, apresentado pelo *script ModelControllerV2*, faz a utilização de modelos 3D ligados chamados *rigged models*. Os *rigged models* são modelos 3D que contém em sua construção uma base de ligação das partes do modelo, ou seja, um esqueleto conexo que liga todas as partes do modelo 3D. Este tipo de modelo geralmente é utilizado para construir personagens, como pessoas e animais, pois estes precisam de um tipo de movimento mais suave fazendo com que as partes do corpo se movam com mais realismo. O uso deste tipo de modelo facilita a criação de animações, pois o desenvolvedor precisa apenas mover as articulações designadas para realizar um movimento realista.

Neste trabalho foram escolhidos modelos 3D do tipo interligado ou *rigged* para proporcionar mais realismo e um movimento mais estável. Cada personagem possui uma hierarquia de partes do corpo que foram adicionadas as variáveis do *Kinect* como mostrado na Figura 13.

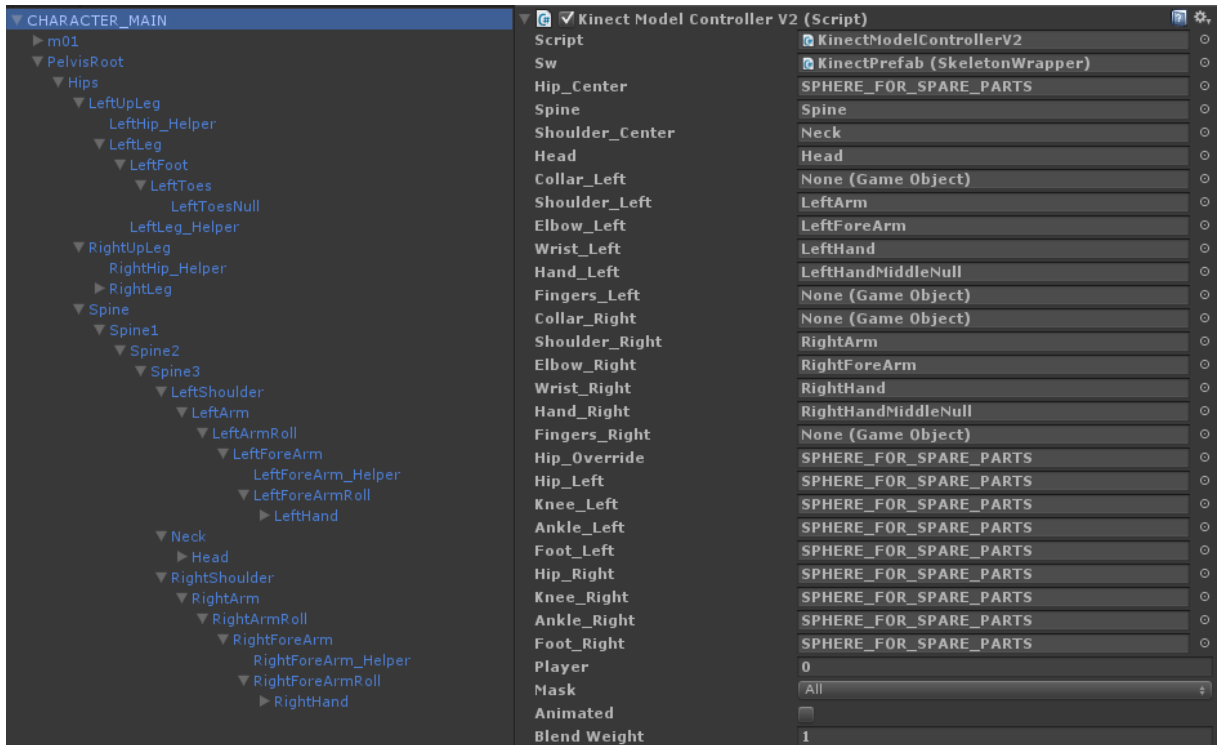


Figura 13 - Hierarquias das partes do personagem

Utilizando o *script*, pode-se vincular cada articulação do personagem 3D às articulações mapeadas pelo *Kinect* simplesmente adicionando cada *GameObject* referente a cada articulação nas variáveis do script, seguindo a hierarquia do modelo utilizado. A diferença entre os dois tipos de modelo pode ser vista na Figura 14.

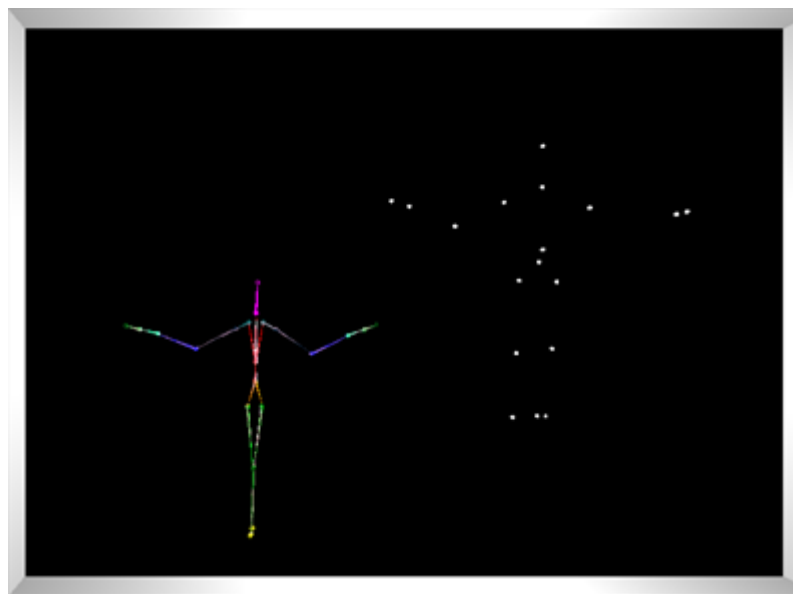


Figura 14 - Diferenças entre os dois tipos de scripts

4.1.3.7 Objetos Pré-fabricados

Outra característica da *Unity* é a capacidade de criação e manipulação de objetos pré-fabricados ou *prefabs*. Um *prefab* é um *GameObject* que já está pronto nos diretórios do jogo, e que tem inclusos todos os componentes, modelos e propriedades. Pode-se criar *prefabs* durante a construção do jogo para facilitar a replicação de objetos e simplificar a construção de cenários por exemplo.

Os objetos pré-fabricados são importantes na criação de jogos quando é necessário importar objetos durante a execução de jogos, diminuindo a complexidade de inserirem-se componentes um a um no novo objeto ou ainda, criando-se toda a estrutura hierárquica de certos objetos como no caso de *rigged models*.

No jogo, os modelos dos personagens utilizados foram transformados em *prefabs* após todos os scripts de funcionamento e propriedades serem criados, para facilitar a replicação. Ao todo, quatro personagens foram utilizados no modo *Multijogador* e três no modo *Singleplayer*. O *plugin* do *Kinect* também apresenta um *prefab* que também deve ser adicionado a um *GameObject* da cena para que as funções e *scripts* do *Kinect* sejam inicializadas e a calibração dos jogadores aconteça.

4.1.4 Modelos 3D

Para a composição das cenas do jogo, vários modelos de objetos e personagens 3D foram escolhidos. Todos os objetos foram obtidos através de *websites* com repositórios de modelos 3D, os quais possuem a licença pública geral (GPL) ou licença de uso não comercial.

A dificuldade nesta abordagem encontra-se no fato de encontrar modelos compatíveis entre si. Muitos modelos não possuem texturas adequadas à iluminação da cena ou ainda suas normais diferem entre si em termos de posicionamento e direção, tornando a escolha dos modelos e adaptação daqueles que são necessários ao jogo, mais demorada. Ainda existe o fato da adequação dos modelos ao estilo do jogo. Adotou-se uma temática mais realista, mas ao mesmo tempo com um estilo de personagens de anime japonês (Figura 15), os personagens escolhidos são divertidos e ao mesmo tempo apresentam características corporais semelhantes às de um ser humano real.



Figura 15 – Exemplo de Modelos 3D utilizados

4.1.4.1 Modelos de Personagens Interligados

Para realizar a movimentação do personagem da cena foram utilizados modelos de personagem que tem em sua construção o chamado *rigged body*. O *rigged body* nada mais é que uma estrutura de esqueleto digital associada a uma malha ou modelo 3D. Como um esqueleto digital, um corpo digital, chamado *rig*, é composto por ossos e articulações simuladas, permitindo a manipulação do personagem de acordo com uma hierarquia lógica de articulações. Esta hierarquia permite a movimentação do corpo do personagem seguindo as posições indicadas pelo *Kinect* sem que seja necessário calcular toda a rotação e movimentação de cada parte do corpo do personagem independentemente. A Figura 16 apresenta um modelo simples de um *Rigged body*, com um modelo e seu esqueleto.

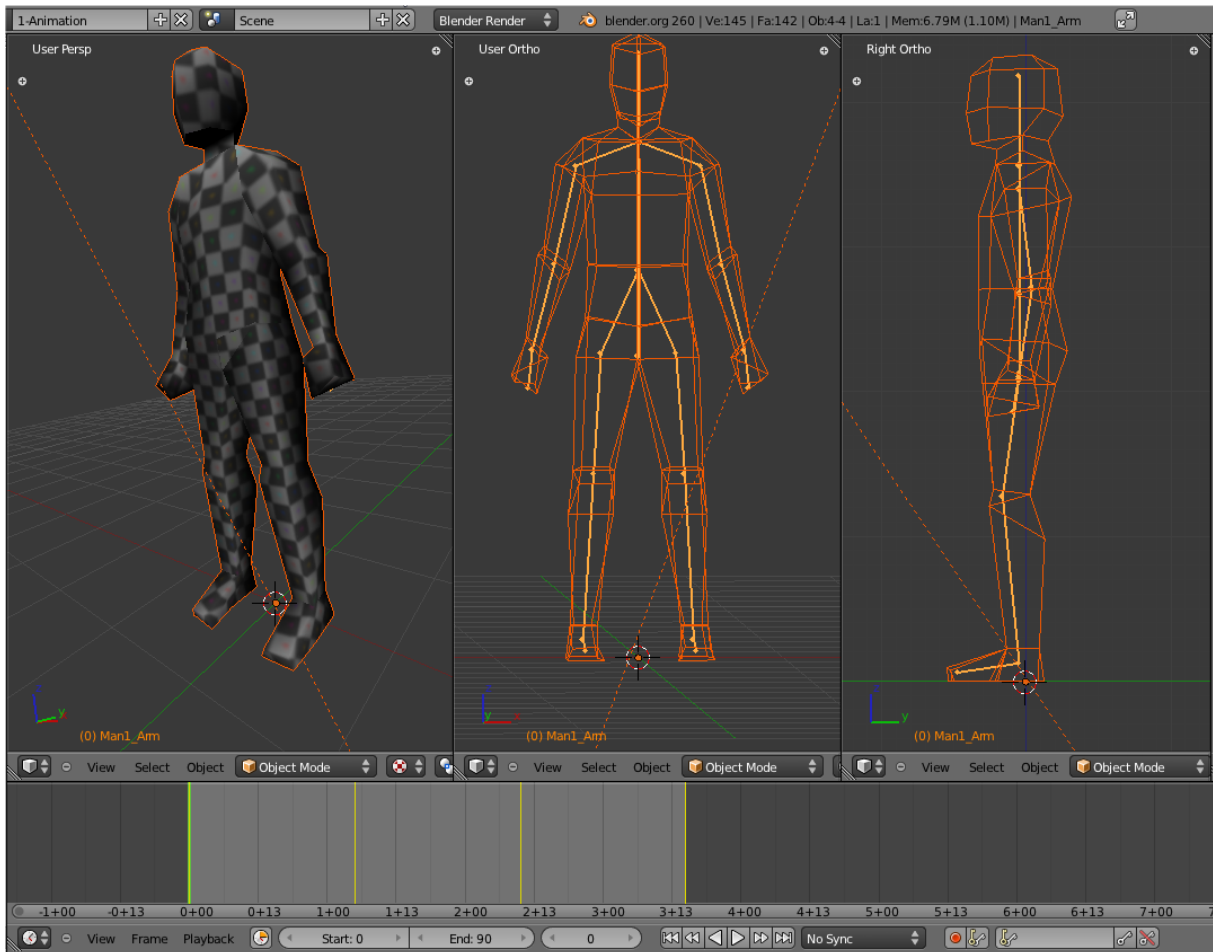


Figura 16 - Exemplo de um *rigged model*

(FONTE: Disponível em http://wiki.blender.org/index.php/Extensions:2.6/Py/Scripts/Import-Export/Marmalade_Exporter Acesso em Nov.. 2014)

As animações iniciais da tela de *menu* fazem uso da cinemática inversa do esqueleto do personagem. Diferentemente da cinemática direta, onde cada articulação deve ser posicionada manualmente pelo animador, na cinemática inversa a articulação que se deseja movimentar é colocada em sua posição ideal sendo seguida pelas demais da hierarquia, necessitando que poucos ajustes sejam realizados nestas para completar o movimento ideal. As animações dos personagens desenvolvidas pelo animador no modelador 3D foram adicionadas aos dois personagens para criar uma cena interativa.

4.2 Desenvolvimento do sistema de jogo

O processo de desenvolvimento do jogo ocorreu seguindo o padrão de desenvolvimento com prototipação de baixa e alta fidelidade através do qual foi feita a remodelagem para aquisição de novos requisitos e a modelagem do sistema até atingir-se o resultado final. Também foram introduzidos novos modelos e funcionalidades de acordo com a necessidade e relevância sugeridos durante as reuniões de avaliação do protótipo.

Os protótipos funcionais foram avaliados durante visitas ao setor de fisioterapia do HUSM. Os protótipos de baixa fidelidade são aqueles que não se assemelham ao produto final mas podem ser desenvolvidos de modo fácil e rapidamente, e foram importantes para realizar a modelagem inicial do sistema. Já os protótipos de alta fidelidade, eram trabalhados de forma evolucionária, desenvolvendo-se a interface e apresentando a evolução para que estes fossem avaliados e então refinados (BRITTO, 2011).

A partir do desenvolvimento dos protótipos de alta fidelidade, foram realizados os testes de usabilidade do sistema, mas sem uma avaliação final, apenas para melhorar o sistema utilizando-se de um ciclo de vida simples como apresentado na figura 17.

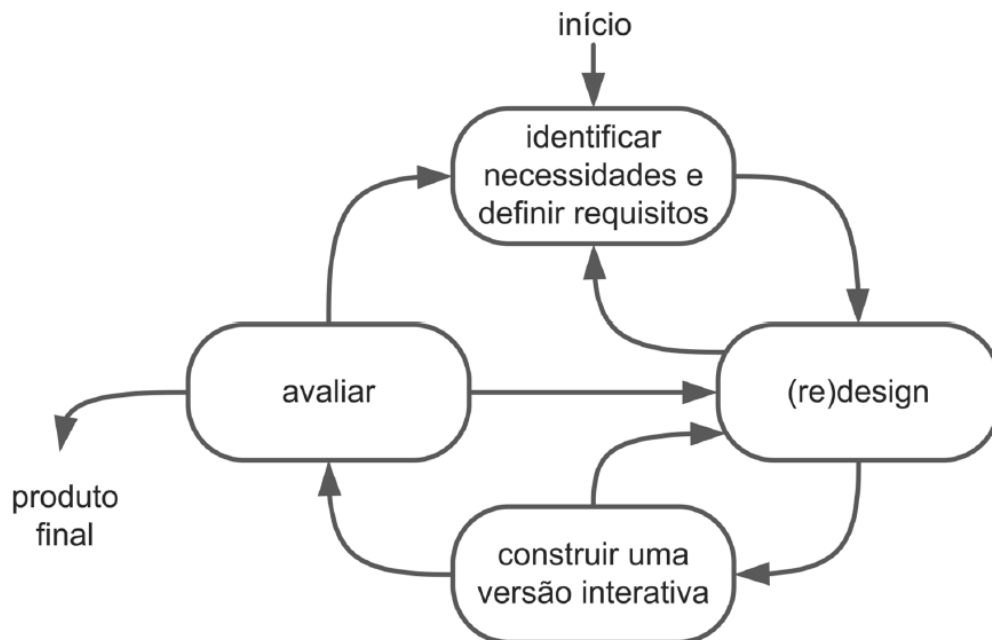


Figura 17 - Ciclo de vida simples de design da iteração. Adaptado de (PREECE, 2005).

O sistema de jogo foi desenvolvido através da criação de módulos independentes entre si. Os módulos criados foram o menu principal e os modos de jogo, *singleplayer* e *multiplayer*. Os módulos seguiram um modelo de desenvolvimento interativo e incremental. A ideia central deste processo é desenvolver o jogo através de incrementos do projeto em função do tempo, onde a cada ciclo uma nova versão usável é apresentada. As figuras 18 e 19 demonstram as fases em desenvolvimento. A partir de cada nova versão é possível corrigir os erros e adicionar novas funcionalidades, além de melhorar a interface visual, de acordo com os requisitos apresentados e as necessidades do projeto. Cada módulo do jogo é criado através do conceito de cenas da *Unity*, que são independentes umas das outras.

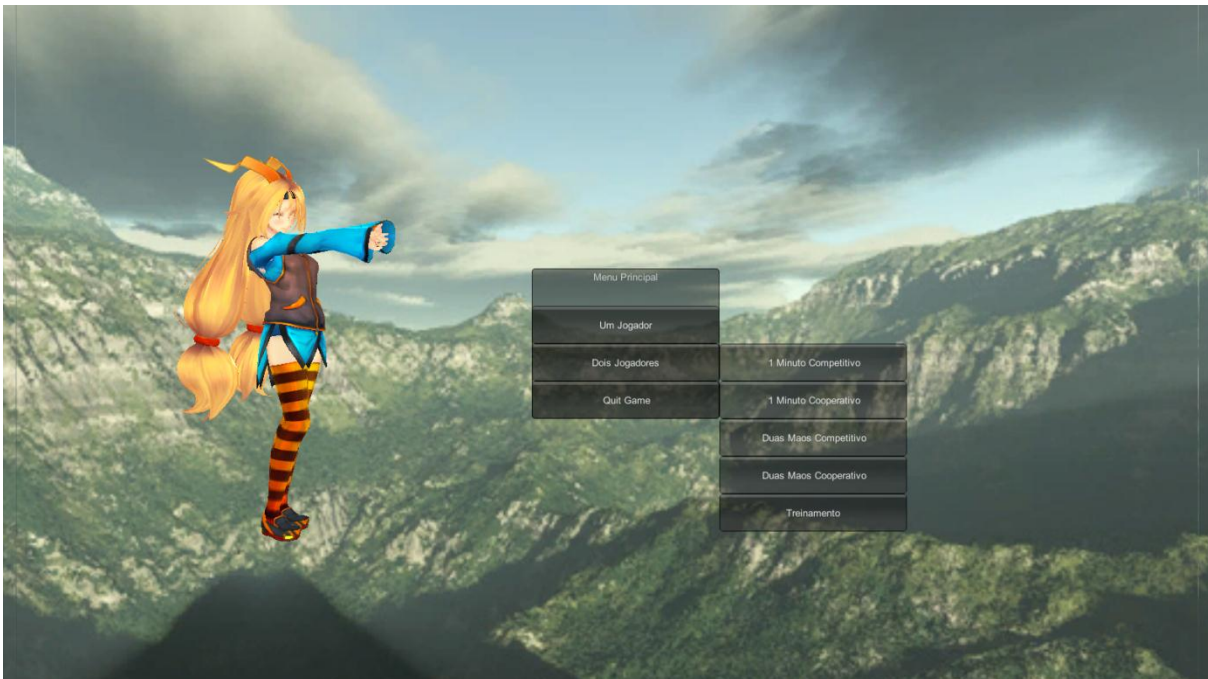


Figura 18 - Tela de desenvolvimento incremental do Main Menu



Figura 19 - Tela de desenvolvimento incremental do modo multiplayer

4.3 Menu Principal

O menu principal é uma cena que contém as opções iniciais e habilita o acesso aos módulos de jogo, separados por modos de jogo *singleplayer* e *multiplayer*. A ideia do menu principal é permitir que durante o desenvolvimento do projeto todos os módulos de jogo estejam integrados ao banco de dados e ao sistema inteiro através desta interface principal. As propriedades deste menu permitem a integração com qualquer modulo desenvolvido posteriormente.

As opções do menu principal são desenhadas na tela através do sistema de desenhos de interfaces gráficas ou GUI. A classe GUI é uma interface nativa da *Unity* que permite o posicionamento manual de elementos. Ela permite que o menu seja criado na tela independentemente dos objetos da cena e das mecânicas de jogo, podendo ser facilmente modificado para conter mais opções.

A primeira opção, que pode ser utilizada para todos os jogos desenvolvidos, traz os menus principais do jogo com os modos de jogo e as informações relativas ao jogador, que são nome, idade e sexo. Através da GUI o jogador insere suas informações nos campos indicados. Após inserir as informações dos jogadores, os modos de jogo podem ser acessados através dos menus.

Cada módulo de jogo é carregado de forma independente. Sempre que um novo módulo é acessado, o anterior é destruído. Assim o menu principal é destruído quando um modo de jogo é executado e carregado em seu lugar. As informações são repassadas aos módulos através de um *script* que fica armazenado em um objeto especial persistente que não pode ser destruído durante a transição de módulos (Figura 20).

A animação dos personagens do menu principal é realizada através do componente de animação de modelos *animator* e do referente script de controle dos movimentos descritos neste componente. As ações a serem executadas por ambos os personagens podem ser obtidas no pacote da personagem feminino. O componente *animator* permite a criação de uma sequência de movimentos a ser executada pelo personagem bem como a hierarquia de troca de movimentos. A integração da animação é possível, pois o sistema utiliza apenas o esqueleto do personagem destino para realizar a movimentação (Figura 21).



Figura 20 - Informação dos participantes

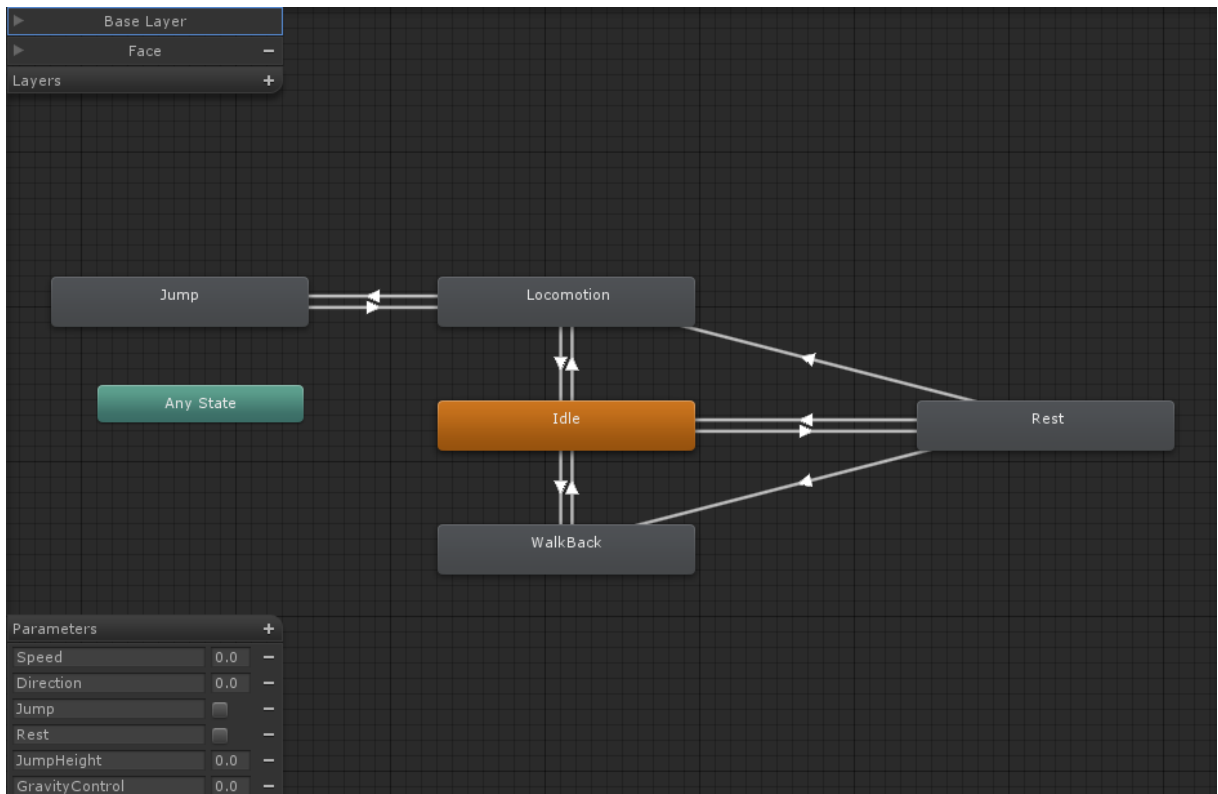


Figura 21 – Componente *Animator* responsável pela animação dos personagens

4.3.1 Modo Jogador Único

O desenvolvimento do modo de jogo de jogador único (*singleplayer*) foi realizado através da análise de requisitos e, diversas de suas mecânicas foram implementadas de acordo com a interação e *feedback* dos participantes do projeto.

Primeiramente realizou-se a integração dos personagens com o *plugin* do *Kinect*. O *plugin* funciona em conjunto com um *GameObject* que armazenará todos os scripts de funcionamento do *Kinect* na *Unity*. O *Script KinectModelControllerV2*, discutido anteriormente, é responsável por fazer a ligação dos movimentos do jogador obtidos pelo *Kinect* para o personagem que aparece na cena.

O personagem principal que é posicionado no centro da tela recebe este componente. As partes do modelo 3D detalhadas na sua hierarquia são apontadas a sua respectiva variável de posicionamento como demonstrado nas Figuras 22 e 23. No modo *singleplayer*, dois modelos de personagens extra são adicionados em uma área lateral para que possa ser verificado o posicionamento adequado do jogador.

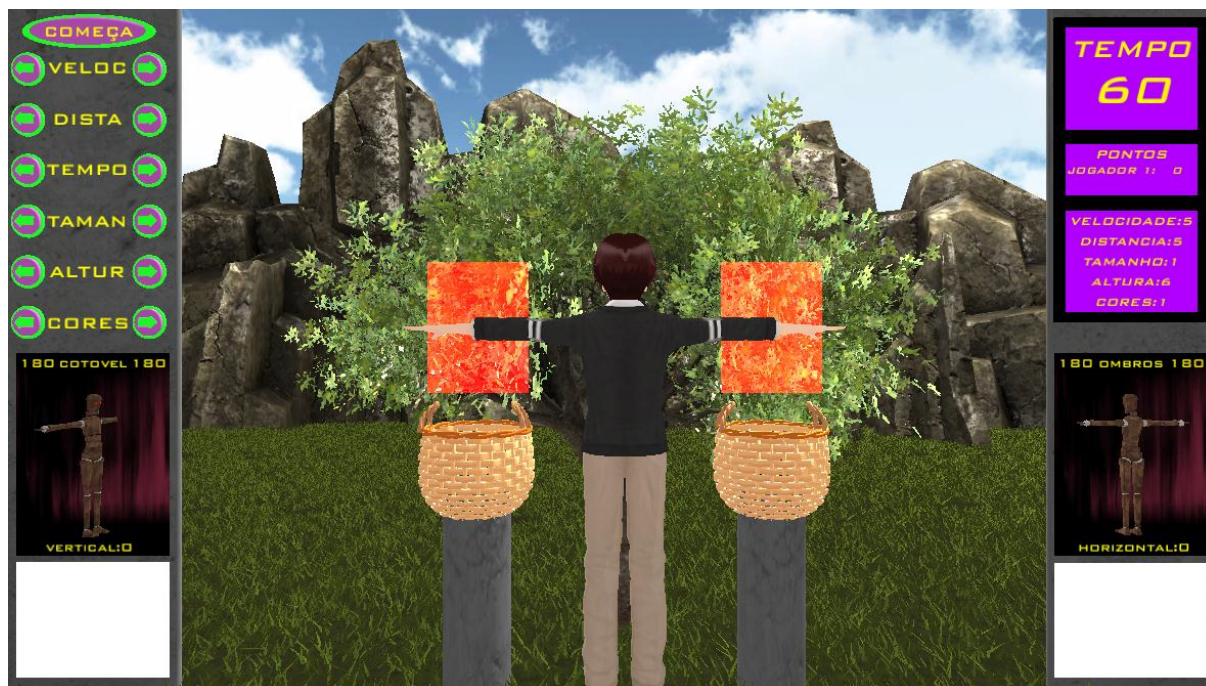


Figura 22 – Representação do Modo *Singleplayer*



Figura 23 - Representação Modo *singleplayer* em execução

Outro elemento importante desenvolvido para o jogo são as informações de feedback apresentadas em telas laterais em formas de angulações da movimentação avaliada. Estas informações são referentes a um goniômetro digital que substitui o método de avaliação padrão. A medição dos ângulos é feita através da fórmula matemática de ângulo entre dois

vetores. No caso do ângulo de abdução dos ombros, a angulação é obtida através do ângulo entre o vetor ombro em direção ao centro da coluna e o vetor ombro em direção ao cotovelo. O centro da coluna é calculado utilizando-se a coordenada X do começo da espinha, cuja posição é fornecida pelo *Kinect* e pela coordenada Y do ombro, também fornecida pelo *Kinect*. O ângulo de flexão dos cotovelos é medido pelo ângulo entre o vetor cotovelo ao pulso e cotovelo ao ombro. A inclinação vertical é medida pelos vetores formados entre o começo da coluna e a pelve e começo da coluna e o pescoço. As medidas de inclinação do corpo diferem das demais por excluir um componente da conta, ou seja, são utilizados vetores bidimensionais. A inclinação vertical não leva em consideração os componentes Z e a horizontal não conta com o componente X.

Durante o processo de testes avaliou-se o goniômetro digital quanto a sua precisão e o erro máximo apontado foi de 4° graus para abdução de ombros, flexão dos cotovelos e inclinação lateral. O erro para inclinação horizontal aumenta gradualmente até um máximo de 15° graus quando totalmente inclinado.

As informações das telas de feedback, do tempo e informações de dificuldade são exibidas a cada atualização de quadros da cena. A utilização do *Kinect* como dispositivo de entrada limita a execução do jogo a 30FPS devido a restrições do hardware.

O menu de controle que é mostrado ao lado esquerdo apresenta botões interativos que definem o nível de dificuldade do jogo. A operação deste menu se dá através do mouse. Após começar-se a partida o mouse não precisa mais ser utilizado.

Todas as mecânicas do jogo funcionam através da utilização do componente *Collider* presentes nos *GameObjects*. No caso do *menu* lateral utiliza-se o recurso de *raycast*, para ativar cada botão através do click esquerdo do mouse. Este recurso simula a emissão de um raio invisível, mas com propriedades de colisão que atingem qualquer objeto que esteja em sua frente. Os botões possuem um colisor circular e são ativados quando este raio os atinge. Sabemos que botão foi atingido através da verificação do seu nome quando este é atingido.

Os botões de velocidade controlam a velocidade com que as frutas aparecem na cena, portanto o número total de frutas é sempre o mesmo para as mesmas definições do jogo. A opção tempo, controla a duração da partida em segundos. A opção de distância controla o tamanho total da área onde nascem as frutas. Esta área pode ser visualizada durante a inicialização da partida e é ajustado de acordo com a capacidade de extensão do braço do jogador. As opções de tamanho e cores ajustam as propriedades das frutas de acordo com a capacidade do jogador, aumentando-se ou diminuindo-se o tamanho e a diversidade de frutas. Por último, o controle de altura controla a altura dos cestos em que se depositam as frutas.

Quanto à operação do jogo, todos os elementos também operam baseados na utilização de *colliders*. Quando uma partida começa, as frutas, que são criadas em posições pseudo-aleatórias dentro das áreas indicadas, são inicializadas com todos os componentes através do script de controle.

A coleta da fruta acontece quando o jogador encosta a mão em uma fruta. A mão do personagem contém um *Sphere Collider* que, uma vez em contato com a fruta, transforma as coordenadas fixas da fruta em suas coordenadas. Quando uma fruta é colocada no cesto, o seu modelo e todos os seus componentes são deletados, e um ponto é adicionado.

No momento da coleta, todas as angulações apresentadas naquele momento são salvas em uma lista de valores que são armazenados até o fim da partida. Quando a partida termina, uma tela de conclusão com a pontuação obtida é apresentada. Ao clicar-se em fechar o jogo todas as informações são finalmente inseridas no banco de dados.

4.3.2 Modo Multi Jogador

O modo *multiplayer* segue basicamente a mesma construção básica do modo *singleplayer*, alterando-se apenas a quantidade de árvores, personagens e cestos. O display de controle do feedback é separado entre os jogadores neste modo, e apenas um para cada jogador é mostrado contendo todas as informações. (Figura 24 e 25)

As definições do jogo valem para os dois jogadores. Com modificações básicas nos mostradores de pontuação pode-se transformar o jogo entre modos competitivo e cooperativo.



Figura 24 - Representação do Modo *multiplayer*



Figura 25 - Representação do Modo *multiplayer* em execução

4.3.3 Banco de dados do sistema

Como descrito pelos requisitos, o jogo desenvolvido deve apresentar um banco de dados com a finalidade de salvar diversas informações relativas ao jogo para posterior avaliação. A base de dados foi criada no computador de testes, sendo um servidor local juntamente com o sistema de jogo, portanto a avaliação poderia ocorrer normalmente sem necessitar de acesso à internet.

A base está constituída de três tabelas que armazenam informações referentes a cada fase do programa. A tabela *sessao*, armazena informações referentes ao nome do jogador, o modo de jogo e a data em que a sessão ocorreu. A tabela *varString* armazena as informações dos jogadores como nome, idade, sexo e pontuação final do jogo. A tabela *varDouble* armazena os dados de configuração da sessão de jogo, que são tempo, cores, distância, altura e tamanho além dos dados das angulações referentes aos movimentos executados durante a sessão de jogo os quais são ombro esquerdo, ombro direito, cotovelo esquerdo, cotovelo direito, inclinação vertical e inclinação horizontal.

Na Figura 26 está representado o modelo relacional lógico utilizado no sistema de jogo

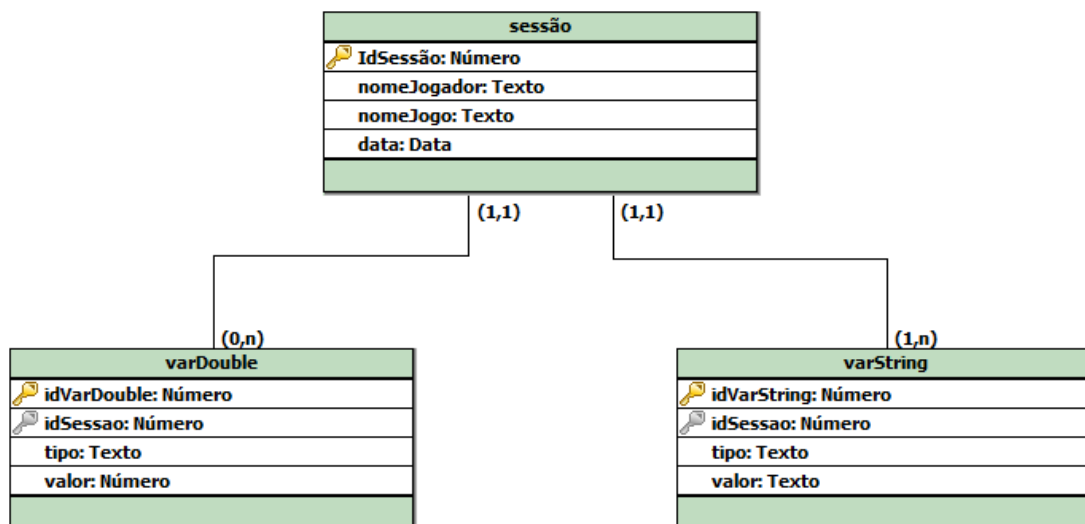


Figura 26 - Modelo relacional

4.3.4 Conexão da Unity com o banco de dados

Como descrito anteriormente, um conector (*Connector*) desenvolvido em C-sharp foi utilizado para fazer a integração dos sistemas do jogo com o bando de dados do sistema. Este conector foi integrado nos jogos desenvolvidas como um simples *script* adicionado a um *GameObject*, tal como qualquer outro *script* de controle utilizado no desenvolvimento. Durante a aquisição de dados todas as informações foram armazenadas em vetores para que após o fim do jogo fossem então adicionadas ao banco de dados evitando assim o acesso constante ao banco durante a partida uma vez que isto tornaria o jogo muito lento (Figura 28).

As informações de cada tabela são separadas pelo seu tipo, através da utilização da sobrecarga do método responsável por fazer a conexão com o banco de dados e enviar as informações para as tabelas (Figura 27).

```
public static void sendDB(string key,double value){
    int sendedID = -1;
    WWWForm message = new WWWForm ();
    message.AddField ("sessao",sessionKey);
    message.AddField ("variavel",key);
    message.AddField ("valorDouble",""+value);
    WWW sender = new WWW ("http://"+hostServer+"/unityCommunication/index.php",message);
    while (!sender.isDone)
        new WaitForSeconds (1);
    int.TryParse(sender.text,out sendedID);
    if(sendedID!=-1)
        Debug.Log ("Salvo a chave "+key+" de valor "+value+" com o id:"+sendedID);
    else
        Debug.Log("Erro ao tentar salvar a chave....");
}
```

Figura 27 - Código da função sendDB para números

```

DatabaseConnector.setSessionKey(Player1Name,"SINGLEPLAYER");

DatabaseConnector.sendDB ( "Nome" , Player1Name);
DatabaseConnector.sendDB ( "Idade" , Player1Age);
DatabaseConnector.sendDB ( "Sexo" , Player1Sex);

DatabaseConnector.sendDB ( "Velocidade" , SpawnControlSpeed);
DatabaseConnector.sendDB ( "Tempo" , StartTime);
DatabaseConnector.sendDB ( "Cores" , NewAppleColors);
DatabaseConnector.sendDB ( "Distancia" , NewTargetDistance);

GameObject DropBoxLeft = GameObject.Find("DROP_LEFT");
DatabaseConnector.sendDB ( "Altura" , DropBoxLeft.transform.position.y);

DatabaseConnector.sendDB ( "Tamanho" , NewTargetSize);
DatabaseConnector.sendDB ( "Pontuacao" , ResultScreenPlayer1.GetComponent<TextMesh>().text);

foreach( float number in LeftShoulderAngles )
{
    DatabaseConnector.sendDB ( "OmbroEsquerdo" , number);
}
foreach( float number in RightShoulderAngles )
{
    DatabaseConnector.sendDB ( "OmbroDireito" , number);
}
foreach( float number in LeftElbowAngles )
{
    DatabaseConnector.sendDB ( "CotoveloEsquerdo" , number);
}
foreach( float number in RightElbowAngles )
{
    DatabaseConnector.sendDB ( "CotoveloDireito" , number);
}
foreach( float number in InclinationVerticalAngles )
{
    DatabaseConnector.sendDB ( "InclinacaoVertical" , number);
}
foreach( float number in InclinationHorizontalAngles )
{
    DatabaseConnector.sendDB ( "InclinacaoHorizontal" , number);
}

```

Figura 28 - Código executado ao término da partida para enviar os dados ao banco de dados

4.4 Usabilidade Jogabilidade e Funcionalidade

4.4.1 Usabilidade

De acordo com a (NBR 9241-11, 2002), o termo usabilidade pode ser usado para referir-se à capacidade de um produto de ser facilmente usado. A definição de usabilidade como qualidade de software, de acordo com ISO/IEC 9126, consiste no “conjunto de atributos que evidenciam o esforço necessário para se poder utilizar software bem como o julgamento individual desse uso por um conjunto explícito ou implícito de usuários”. A ISO/IEC 9126, que é a norma internacional ISO para qualidade de produto de software, apresenta seis atributos de qualidade propostos para avaliar a qualidade do software, onde um deles é a usabilidade.

A usabilidade apresenta as seguintes características:

- **Inteligibilidade:** Representa a facilidade de o usuário compreender e operar o sistema bem como avaliar se o sistema satisfaz suas necessidades;
- **Apreensibilidade:** Capacidade de aprendizagem do sistema pelos novos usuários;
- **Operacionalidade:** Representa a facilidade com que o software é utilizado, e a tolerância aos erros de operação;
- **Atratividade:** Envolve a atração do sistema ao usuário em potencial, que varia desde qualidade do sistema, performance do sistema, acurácia das informações e até beleza visual.

Como descrito em KJELDSKOV (2004) novas formas devem ser desenvolvidas para avaliarem-se os diferentes tipos de sistemas. Ao passo que a maioria dos sistemas são avaliados isoladamente em ambientes controlados, os testes de usabilidade podem ser avaliados em situação real de uso. No caso dos testes executados neste trabalho, estes ocorrerem em um ambiente controlado, dentro do setor de fisioterapia, que representa o mesmo utilizado por pacientes e que podem vir a utilizar o sistema.

De acordo com (KIERAS, 2006), um jogo não é divertido a menos que exista algum tipo de desafio envolvido, e que este seja um pouco difícil de aprender e resolver. Ao contrário de um software usual, o jogador não espera que o jogo se torne mais fácil com o tempo, mas prefere a emoção de resolver novos desafios e objetivos.

Uma das preocupações no desenvolvimento de jogos não é frustrar o jogador ou impor dificuldades inadequadas. Há uma série de aspectos da usabilidade de jogos digitais, onde a

eficiência e eficácia devem ser secundárias ao fator satisfação. Assim, os estudos de usabilidade de um jogo devem ser abordados em uma perspectiva diferente dos *softwares* de trabalho comuns (LAITINEN, 2005; FEDEROFF, 2002).

4.4.2 Jogabilidade

A jogabilidade ou *gameplay*, representa a experiência pelo jogador executando as tarefas do jogo, abordando vários fatores que tornam esta experiência melhor ou pior, determinando assim a qualidade da jogabilidade.

O termo é difundido na indústria dos jogos eletrônicos, sendo utilizado por jogadores, jornalistas da área, e entre desenvolvedores que discutem amplamente a jogabilidade dos jogos em fóruns e em *websites*, com a finalidade de avaliar, testar e melhorar os sistemas desenvolvidos.

De acordo com (CHENG, 2004) há várias tarefas e funções básicas que seguem os princípios para a usabilidade, como menus de navegação, informações de feedback, aparência e design visual ou funções que levam algum tempo como carregar e salvar um jogo. Em um jogo onde se aplicam as regras tradicionais de usabilidade nos lugares errados pode perder todo o seu caráter motivacional. O ponto principal é identificar onde está o desafio e deve-se manter qualquer outro aspecto fora deste contexto. Assim, o designer visa criar meios de suporte para o jogador enfrentar os desafios que são parte da diversão de alcançar os objetivos do jogo, em vez de comprometer a sua experiência e satisfação com a eficácia e eficiência de tarefas que exijam mais esforço do que deveria.

A Jogabilidade representa a usabilidade específica de um jogo por se tratar da fluidez do jogo e como este se comporta quando jogado. Os comandos, o tempo de resposta, a fluidez visual dos elementos gráficos entre outros elementos, fazem parte da jogabilidade de um jogo.

4.4.3 Procedimentos de teste

A maior parte dos testes de usabilidade é realizada com apenas um participante, porém algumas seções precisam ser conduzidas com mais de um participante, onde ambos os casos apresentam vantagens e desvantagens como, por exemplo, o desempenho de um dos participantes interferir no desempenho do outro (BASTIEN, 2010). As seções de jogo avaliadas durante os testes deste projeto continham testes com um ou dois participantes para avaliar os diferentes modos de jogo. A aplicação dos questionários, ocorreu de forma

individualizada, logo após as sessões de jogos. De acordo com (BASTIEN, 2010) o teste de usabilidade empírico está bem documentado.

A implementação e aplicação dos testes de usabilidade geralmente seguem um número de passos (BASTIEN, 2010):

- Definição dos objetivos do teste;
- Qualificação e recrutamento dos participantes;
- Seleção das tarefas que serão realizadas;
- Criação e descrição dos cenários de tarefas;
- Escolha das medições que serão feitas bem como os dados que serão gravados;
- Preparação do laboratório de teste e do material utilizado;
- Design e seleção do questionário de satisfação e métodos de análise dos dados;
- Apresentação dos resultados.

4.4.3.1 Questionário de Experiência de Jogo

A experiência em jogos de digitais não deve ser avaliada de um ponto de vista unidimensional. Existe atualmente uma grande variedade de tipos e modos de jogos e jogadores. A experiência final ao jogar varia de acordo com estas características (BROOKE, 1996).

Para a análise de funcionalidade, usabilidade e jogabilidade do jogo construído utilizou-se a ferramenta GEQ - *Game Engagement Questionnaire*, que foi desenvolvida por IJsselsteijn, de Kort e Poels com o propósito de avaliar jogos, analisando 42 questões em sua versão completa, podendo este ser aplicado de diferentes modos, com versões reduzidas dependendo do foco da pesquisa (VERMEEREN, 2010). O GEQ, é constituído por 3 módulos. Módulo principal, que consiste na avaliação da experiência durante o jogo (*gameplay*), Módulo de presença social, que agrega as experiências ao jogar com outros (*multiplayer*) e o módulo pós-game, que consiste na análise realizada pelo jogador após ter acabado a seção de jogos.

A análise do GEQ é dividida em sete fatores principais que dividem o questionário em Competição, Competência, Fluidez, Efeito Negativo, Efeito Positivo, Imersão sensorial e imaginativa e finalmente Tensão. Estes fatores serão essenciais na hora da avaliação final do teste pois representam a opinião dos participantes nas diferentes áreas abordadas pelo teste e representam diretamente os fatores de análise da jogabilidade.

Pode-se também reduzir o GEQ para sua utilização com a análise de apenas alguns fatores. Alguns exemplos são apresentados pelos próprios desenvolvedores do GEQ (MARQUES, 2014).

As respostas das perguntas do questionário foram projetadas para ter cinco alternativas de resposta, baseando-se na escala de Likert para respostas de questionários, tendo como base o questionário SUS que utiliza a mesma escala (BROOKE, 1996). As afirmativas de resposta aplicadas a cada item do teste também devem ser cuidadosamente escolhidas para não influenciar a decisão do participante.

Embora existam novos estudos referentes à experiência em jogos digitais, esta é uma área que ainda carece de muito conhecimento. Além disso, a literatura ainda está muito fragmentada, pois muitos estudos avaliam jogos em apenas uma dimensão como, por exemplo, imersão ou fluidez (BROOKE, 1996).

Alguns questionários como o questionário SUS (*System Usability Scale*), questionário que é reconhecido e largamente utilizado, apresenta, por exemplo, apenas a avaliação em termos de usabilidade, com a finalidade de avaliar sistemas com poucas questões (SUS, 2015).

Alguns elementos de teste de usabilidade diferem entre o SUS e GEQ como testar fases do jogo ou elementos de *design*, devido à limitação de tempo dos testes e também pelo tamanho do grupo. Embora os testes de usabilidade permitam realizar o *re-design* para uma nova fase de aplicação o teste geralmente é realizado com poucas pessoas (entre cinco e seis) (PROCCI, 2012).

Nos testes deste jogo além de realizarmos o teste pelos questionários com o máximo de participantes possíveis, coletaram-se também dados para representar um padrão ideal de movimentação. Ainda, o sistema passou por um demorado processo de aperfeiçoamento durante o desenvolvimento com a participação direta de integrantes dos grupos de fisioterapia até chegar ao estado testado, mas ainda sim se consideraram todas as perguntas para melhor avaliar o sistema em seu estado final.

O objetivo deste tipo de teste é avaliar os efeitos e pontos positivos ou negativos do jogo desenvolvido (PROCCI, 2012). Para realizar-se as análises do jogo, foi escolhido um método mais completo que permitisse utilizar vários tipos de medidas a fim de avaliar de forma mais abrangente diversos aspectos, no contexto de *serious games*, os jogos desenvolvidos para o tratamento de pacientes hemiplégicos.

A Tabela 1 abaixo representa a experiência do participante durante e depois do jogo, em função de algumas dimensões que podem ser avaliadas pelo questionário.

Tabela 1 - Tabela representativa da experiência do usuário

Dimensão	Experiência durante o jogo	Experiência pós-jogo
EFEITO POSITIVO/SATISFAÇÃO	Diversão, Diversões, Prazer, Relaxamento	Energia, satisfação, Relaxamento
FLUIDEZ	Concentração, Absorção, Destacamento do mundo real	Jetlag, Perda da noção do tempo, Alienação
IMERSÃO SENSORIAL E IMAGINATIVA	Absorção na história, Empatia, Identificação	Retornar ao mundo real
IMERSÃO SENSORIAL	Presença	Retornar ao mundo real
SUSPENSE	Desafio, Tensão, Pressão, Apreensão, Ansiedade, Entusiasmo	Libertação, Alívio Exaustão, Euforia
COMPETÊNCIA	Orgulho, Euforia, Realização	Orgulho, Euforia, Realização, Satisfação
EFEITO NEGATIVO	Frustração, Decepção, Irritação, Raiva	Lamentação, culpa, decepção, raiva, vingança
CONTROLE	Autonomia, Poder, Liberdade	Poder, Status
PRESENCIA SOCIAL	Gozo com outros, Conexão com outros, Empatia, Cooperação	Realização em equipe, União

4.4.4 Funcionalidade e Análise Funcional

De acordo com a ISO/IEC9126 funcionalidade é a capacidade de um software prover funcionalidades que satisfaçam o usuário em suas necessidades declaradas e implícitas, dentro de um determinado contexto de uso. A funcionalidade de um sistema está atrelada aos requisitos funcionais.

Os requisitos funcionais representam um módulo de função que um software deve ter, e descrevem explicitamente as funcionalidades e serviços do sistema (SOMMERVILLE, 2011).

A funcionalidade deste sistema está diretamente relacionada com a análise funcional dos pacientes de fisioterapia, medida através do goniômetro. O sistema deve contemplar a todos os movimentos que podem ser medidos pelo goniômetro.

4.4.4.1 Questionários de Funcionalidade

Para a realização do teste de funcionalidade do jogo foi aplicado um modelo de questionário especial para avaliar as limitações funcionais do sistema em relação aos membros superiores dos participantes, para determinar a validade e confiabilidade da capacidade de avaliar o mesmo através do jogo.

O questionário foi desenvolvido com base na metodologia do instrumento de testes CUE (*Capabilities of Upper Extremity ou Capacidades das Extremidades Superiores*) e RPE (*Borg rating of perceived exertion ou Percepção Subjetiva de Esforço*). O método CUE apresenta uma gama de 32 exercícios a serem realizados pelos pacientes para que este seja avaliado de acordo com a pontuação obtida. Ele pode ser utilizado para avaliar e monitorar pacientes com problemas nos membros superiores, especialmente aqueles com problemas na coluna cervical (MARINO, 1999; MARINO, 2014).

Como pode ser visto no Anexo A, as questões foram desenvolvidas para verificar a capacidade do sistema de avaliar o paciente em relação aos membros superiores. Por limitações tecnológicas do *Kinect*, apenas algumas funções podem ser avaliadas. Funcionalidades como operações com mãos e dedos não podem ser verificadas devido à falta de uma maior capacidade de reconhecimento destas partes. Portanto, o teste precisou ser reduzido para se adaptar a metodologia de teste aplicada.

Foram adicionadas ao teste duas questões relacionadas ao método BORG para medir a intensidade da atividade física executada pelos participantes. Neste caso, o número de respostas também foi reduzido para se adequar ao teste. No RPE original, os valores variam de seis a vinte para o nível de esforço (JUNG, 2013; BORG, 1982).

4.5 Procedimentos e planejamento para aquisição de dados

Durante o projeto algumas questões referentes ao funcionamento do dispositivo foram verificadas. A primeira preocupação foi com a participação do fisioterapeuta no auxílio dos pacientes durante a execução do jogo. Para tanto foi desenvolvido um sistema que permitisse a avaliação em tempo real do paciente e permitisse o ajuste das propriedades do jogo para que

este se adaptasse ao paciente. Para a avaliação do paciente, foi desenvolvido um goniômetro digital, apresentado em uma região lateral na tela do jogo e uma base de dados foi criada para que as todas as informações das seções de jogo fossem devidamente salvas.

4.5.1 Análise técnica

A análise técnica de avaliação do sistema foi realizada para encontrar o ambiente que melhor se adequava para a fase de execução dos testes propostos. A sala disponibilizada com dimensões de 3,60m de extensão por 3,50m de profundidade proporcionou espaço suficiente para os testes além de ser isolada de barulho e demais interferências que poderiam atrapalhar ou distrair os participantes.

A sala localizada dentro do ambiente de fisioterapia, se mostrou a melhor opção por proporcionar feedback mais rapidamente uma vez que os participantes poderiam avaliar o sistema e dar dicas durante a fase de desenvolvimento e testes. Além disso, a sala possuía iluminação controlada, com janelas cobertas para que a luz não atrapalhasse o jogador e nem houvesse reflexo no monitor onde o jogo é mostrado. Também conta com sistema de condicionamento de ar para que a temperatura durante o procedimento fosse sempre estável, variando entre 22C e 25C. Assim todos os participantes estavam sob as mesmas condições durante os testes.

Os equipamentos necessários para os testes, um computador, um aparelho televisor, e o dispositivo *Microsoft® Kinect™*, foram instalados na sala disponibilizada em uma posição ideal para a execução dos testes.

A base para o posicionamento dos demais aparelhos deve ser o dispositivo *Kinect*, pois este necessita de um posicionamento adequado para que sua capacidade de análise não seja prejudicada. O sensor do *Kinect* tem uma abrangência limitada então se faz importante que todos os objetos sejam posicionados de acordo.

O monitor / televisão foi instalado a uma altura de 1,75m medida a partir do seu centro, e é instalada na parede menor da sala, ficando em uma posição confortável e oferecendo espaço lateral suficiente para os pacientes se mover ao redor da sala. O *Kinect* foi instalado logo abaixo da televisão para ficar em uma posição central em relação à posição de teste, a 2,7m. A esta distância, a parte inferior da câmera de monitoramento *Kinect* rastreia os pés dos participantes a partir da linha no chão, deixando espaço suficiente para as pessoas mais altas. O computador pode ser posicionado em qualquer lugar da sala, mas a posição escolhida foi abaixo do sensor *Kinect*, na mesma mesa. Isso é necessário, a fim de

proporcionar ao fisioterapeuta a melhor posição para estar perto dos controles e ficar de fora do foco do sensor *Kinect*. Desta forma, ele não interfere no desempenho do jogador, mas pode, ao mesmo tempo instruir e observar a evolução através das ferramentas de *biofeedback* além controlar o jogo. Além disso, o fisioterapeuta fica fora do foco do jogo, mas pode ser visto facilmente pelos pacientes quando necessário.

4.5.2 Plano de coleta

Como o jogo permite o ajuste de uma variedade de propriedades diferentes, com base no nível de capacidades de pacientes, um padrão único de opções foi escolhido, de acordo com os profissionais de fisioterapia e as capacidades de jogo, para aplicar os testes

O padrão escolhido apresenta-se da seguinte forma:

- Tempo de jogo padrão de 60 segundos;
- Distância total do tamanho da área de nascimento das frutas, para extensão total dos braços;
- Altura do cesto: 4 de 6. Esta altura foi escolhida, pois permite a extensão total do braço até a cesta;
- 3 tipos de frutas;
- Quanto a velocidade, uma nova fruta aparece nas regiões designadas a cada 3 segundos, podendo a fruta nascer tanto na região esquerda quanto na direita;
- Foi utilizado o tamanho padrão para as frutas.

No banco de dados, são armazenadas as seguintes posições relativas aos movimentos dos pacientes:

- Ângulos de abdução dos ombros direito e esquerdo em relação ao tronco;
- Ângulos de flexão dos cotovelos direito e esquerdo;
- Ângulos de inclinação vertical e horizontal do tronco em relação à cintura e pernas.

4.5.3 Aquisição de dados

A aquisição de dados foi realizada durante as sessões de jogo. Toda vez que o participante toca uma fruta com a mão, o ângulo de flexão do cotovelo, o ângulo de abdução do ombro e os ângulos de inclinação são armazenados no jogo. O jogador marca um ponto

cada vez que coloca uma fruta nos cestos corretamente. Quando a sessão de jogo é concluída, os pontos são exibidos para os participantes. Ao final da sessão todas as informações sobre a sessão de jogo específico como ângulos, propriedades da sessão de jogo e informações dos participantes são armazenadas no banco de dados do jogo.

Após a sessão de jogo, os participantes responderam aos questionários. Todas as respostas foram armazenadas para posterior avaliação.

4.5.4 Participantes especialistas

Os participantes da avaliação consistiram em 73 estudantes do curso de graduação em Fisioterapia da UNIFRA e UFSM, do quinto ao nono semestre, professores de Fisioterapia da UFSM, fisioterapeutas do HUSM e estudantes de pós-graduação em fisioterapia da UFSM.

4.5.4.1 Times/divisão dos testes

Os testes foram realizados na presença de profissionais de fisioterapia e do desenvolvedor do jogo.

4.5.5 Equipamentos e programas utilizados

Descrição dos equipamentos utilizados para a aquisição e armazenamento de dados e criação dos sistemas e jogos;

- Dispositivo de reconhecimento de movimentos: *Microsoft® Kinect™ for Windows®*;
- Computador:
 - Processador: Intel® Core2Quad™ Q6600;
 - Memória: 4gb ddr2 800Mhz;
 - Placa de vídeo: Nvidia GeForce 9800 GT;
 - Disco Rígido: 500Gb SATA II.
- Computador Notebook:
 - Processador: Intel® Core2Duo™ T7250;
 - Memória: 2gb ddr2 800mhz;
 - Placa de vídeo: Nvidia® GeForce™ 8400M GS;
 - Disco Rígido: 120Gb SATA II.

- Aparelho televisor: Samsung de 32 polegadas;
- Câmera de gravação: Sony® *Cyber-Shot*™ DSC-XH100v;
- *Software: Xampp, Microsoft® Windows*™ 7, *Mysql DataBase, Unity Game Engine Software, Kinect SDK 1.8, Kinect Toolkit 1.8.*

4.5.6 Procedimentos

Durante as sessões de teste, o procedimento a seguir foi definido para a sua execução:

1. Primeiramente o projeto é brevemente apresentado e explicado para os participantes. Em seguida, os mesmos devem ler e assinar o termo de compromisso, informando sua disposição em participar por livre e espontânea vontade;
2. O participante é instruído para ser posicionado em uma distância de 2,70 m ideal do dispositivo *Kinect*, que permitem que o paciente estar completamente dentro do alcance do sensor de câmara dispositivo. A distância ideal é marcada por uma linha no chão da sala;
3. O participante deve estar posicionado no foco do sensor *Kinect* e da câmera de vídeo. Quando o jogo está no modo *singleplayer* o participante tem de ser colocado no centro da gama de focagem do sensor. Já quando o jogo está no modo *multiplayer* os participantes devem ser posicionados lado a lado ajustando-se ao foco do sensor que é 2,60m na distância padrão de 2,70m;
4. As funções, detalhes e procedimentos a serem executados pelos participantes são explicados, bem como o funcionamento de calibração dos seus corpos pelo sensor;
5. O participante irá então executar o jogo para uma primeira tentativa como um tutorial, onde ele pode fazer perguntas e conhecer o jogo antes de fazer o teste;
6. Antes de iniciar a sessão de jogo, as informações do participante em relação a nome, sexo e idade são inseridas no jogo menu principal;
7. O jogo é iniciado com as mesmas definições predefinidas para todos os participantes. Todas as sessões de jogo são gravadas com uma câmera de vídeo para uma possível avaliação posterior;
8. Quando a sessão jogo termina o participante é instruído a responder aos questionários de avaliação baseado na web.

4.5.7 A ordem de procedimentos executados durante a aquisição de dados foi a seguinte

1. Posicionamento do (s) participante (s);
2. Explicação das propriedades e funcionalidades de jogos e do hardware;
3. Jogo tutorial para o entendimento dos procedimentos de teste e uso do jogo;
4. Inserção das informações - Nome, sexo e idade - no sistema de jogo ainda no menu principal;
5. Jogo de teste com aquisição de dados e gravação da sessão de jogo durante a sua execução;
6. Os participantes são instruídos a responder aos dois questionários.

4.5.8 Documentação final gerada

Questionário gerado após as seções de teste armazenado no Google Drive. Dados estatísticos de movimentação, armazenados no banco de dados.

4.5.9 Termo de consentimento assinado pelos participantes

Todos os participantes tiveram que, antes de realizar o teste, ler e assinar o termo de compromisso livre e esclarecido apresentado a este antes da explicação do projeto. O termo de consentimento apresenta aos participantes, informações tais como os objetivos do projeto, características e testes ao qual o participante irá se submeter além de seus direitos. Também apresenta os métodos e procedimentos de avaliação que serão aplicados.

O termo garante a ambas as partes que o participante está de acordo com o que lhe é apresentado no próprio termo e no que lhe é proposto durante o teste, garantindo a este seu sigilo mesmo quando os resultados da pesquisa forem divulgados.

Ao assinar o termo, o participante concorda com os termos, podendo o mesmo abandonar ou negar-se de realizar o teste após assinar o termo em qualquer momento.

5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos questionários aplicados aos participantes dos testes. Cada participante respondeu ao teste em separado independentemente do modo jogado. Para demonstrar os resultados dos métodos de avaliações propostas neste trabalho, foi realizada a análise estatística dos dados, através dos resultados dos questionários aplicados e dos dados coletados através das seções de jogos.

Primeiramente apresentam-se os resultados obtidos através do questionário GEQ e CUE e RPE, referentes a usabilidade, jogabilidade e funcionalidade e suas comparações entre os modos de jogo, *singleplayer* e *multiplayer*. Após esta análise, demonstra-se o padrão de dados de pessoas sem deficiências ou problemas físicos, obtidos através das diversas sessões de jogos realizadas com os especialistas.

Para analisar os dados referentes ao GEQ foi realizada uma análise de confiabilidade para medir a validade do teste com os participantes. Para medir a diferença entre as médias das respostas dos modos de jogo foi utilizada a análise de variância.

5.1 Análise de Confiabilidade (Alfa de Crombach)

O coeficiente alfa de Cronbach, é calculado a partir da variância dos itens individualmente e da variância da soma de todos os itens de avaliação, necessitando que todos os itens utilizem a mesma escala de medição (DA HORA, 2010). A equação para este cálculo é a seguinte:

$$\alpha = \left(\frac{k}{k - 1} \right) \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k s^2_i}{s^2_t} \right)$$

Equação: Alfa de Crombach

- k corresponde ao número total de itens do questionário
- s^2_i corresponde a variância de cada item
- s^2_t corresponde a variância total dos itens do questionário, determinada pela soma de todas as variâncias.

O valor teórico do alfa varia entre 0 e 1 por ser a razão entre duas variâncias. O alfa pode assumir valores negativos até o infinito, dependendo do método de estimação utilizado, porém somente valores positivos demonstram a confiabilidade de um questionário. Valores

muito altos, maiores do que 0.95, não são desejados, pois podem indicar que os itens do questionário são redundantes (EXPLORABLE, 2010).

Abaixo, se apresentam os valores do alfa e sua aceitabilidade de acordo com (MAROCO, 2006) baseados na consistência interna do teste:

Tabela 2 – Valores de aceitabilidade de alfa

Nível de aceitação	Valor de alfa
Excelente	$\alpha \geq 0.9$
Bom	$0.7 \leq \alpha < 0.9$
Aceitável	$0.6 \leq \alpha < 0.7$
Pobre	$0.5 \leq \alpha < 0.6$
Inaceitável	$\alpha < 0.5$

A aplicação do alfa de Crombach se baseia em alguns pressupostos (DA HORA, 2010; MAROCO, 2006):

- O questionário deve estar dividido e agrupado em dimensões, ou seja, questões que tratam de um mesmo aspecto;
- O questionário deve ser aplicado a uma amostra significativa e heterogênea;
- A escala já deve estar validada;

A análise é realizada para aplicação no questionário GEQ, por se adaptar corretamente as características do teste. O GEQ é dividido em dimensões, unindo as questões de mesmo aspecto, é aplicado para uma amostra significativa e finalmente utiliza a escala de Likert, baseada no modelo SUS de pontuação.

A análise de confiabilidade, não é utilizada para os testes CUE e RPE. Segundo DA HORA (2010), a confiabilidade não pode ser aferida nestes casos, pois é subentendido que especialistas tendem a ter a mesma opinião sobre o assunto de sua área afim logo diminuindo a variabilidade e o alfa.

5.2 Análise de Variância

Para avaliar a diferença entre os dois modos de jogo, foi realizada a análise de variância entre os questionários dos dois modos de jogo além da análise dos gráficos. A análise de variância ou ANOVA é uma técnica estatística utilizada para avaliar se há diferenças significativas entre as médias de populações.

A maioria dos testes de análise estatística envolve a comparação entre tratamentos ou grupos de indivíduos. Geralmente se define uma hipótese nula H_0 , que estabelece que a diferença entre as populações seja zero. Adicionalmente, tem-se a hipótese alternativa H_1 que deve ser aceita caso se negue a hipótese nula. A análise da variância baseia-se no teste destas hipóteses levantadas sobre as médias das populações que são:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

A partir da análise dos dados estatísticos gerados através das amostras, podemos aceitar ou negar a hipótese nula H_0 . Uma vez que as diferenças das amostras são baseadas na pontuação total entre duas amostras, pode-se fazer a mesma análise utilizando-se o método T-student. Esta análise inicial foi realizada para verificar-se a diferença entre as pontuações entre as dimensões apresentadas no questionário.

5.3 Análise dos resultados do teste GEQ

A Figura 29 apresenta os dados finais da avaliação do questionário GEQ. Os resultados são apresentados na forma do somatório dos pontos obtidos de cada uma das respostas de cada dimensão. As respostas foram transformadas em valores de 1 a 5, para realizar a criação dos gráficos e a soma dos resultados finais. Podemos ver a partir do gráfico que as dimensões competição, competência, fluidez, efeito positivo e imersão tiveram resultados positivos obtendo uma pontuação alta em relação às duas dimensões de efeito negativo e tensão que tiveram pontuações baixas.

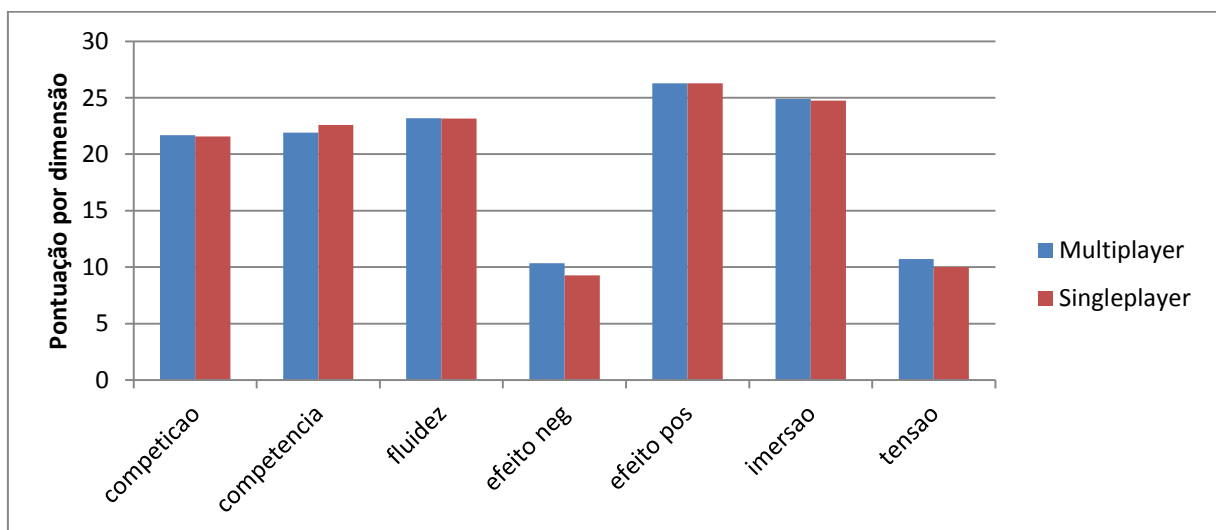


Figura 29 - Pontuação total de cada modo de jogo

Podemos visualizar também a diferença entre os dois modos de jogo e que estes atingem níveis parecidos de pontuação alta e baixa.

Diferentemente do SUS a análise apresentada não diferencia a importância de cada questão através do peso numérico para cada questão do questionário. Desta maneira a análise de Crombach foi importante para revelar a importância de cada questão dentro de cada dimensão. A análise de variância entre os dois modelos apresentou pouca diferença entre os totais de dados, porém, a variância entre os elementos de mesma dimensão foi grande indicando variações significativas entre as respostas.

5.3.1 Competição

As questões apresentadas pelos gráficos desta dimensão são apresentadas a seguir. A questões estão numeradas de acordo com sua ordem do questionário de experiência GEQ:

- 8 - Eu senti que estava aprendendo
- 13 - Eu achei que foi muito difícil
- 26 - Eu me senti estimulado
- 29 - Eu me senti desafiado
- 36 - Eu tive que fazer muito esforço
- 37 - Eu me senti pressionado pelo tempo

O valor de alfa de Crombach para esta dimensão foi de 0,6609 com um coeficiente limite de 0,5459 classificado como aceitável, sendo este o menor resultado entre as dimensões do teste. A Tabela 3 demonstra a variação do alfa de acordo com a remoção de certos elementos da tabela para elevar o grau de confiança.

Tabela 3 - Alfa de Crombach para competição

Remoção de variável - Alfa de Crombach		
Questão	Alfa	Variação
8	0,5654	-0,09522
13	0,6412	-0,01976
26	0,6015	-0,05947
29	0,6290	-0,03197
36	0,6841	0,02314
37	0,5769	-0,08402

A análise das questões desta dimensão de acordo com as Tabelas 4 e 5 apresenta maior diferença entre os dados das questões 13, 29 e 36. Demonstram, portanto, a tendência de maior desafio e estímulo no modo *multiplayer* enquanto encontraram maior dificuldade e maior esforço no modo *singleplayer* (Figuras 30,31 e 32).

Tabela 4 – Respostas para a dimensão Competição *Multiplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	8	13	26	29	36	37
Concordo Totalmente	38	0	52	38	2	28
Concordo Parcialmente	52	16	42	56	10	64
Indiferente	10	10	6	6	18	6
Discordo Parcialmente	0	52	0	0	50	2
Discordo Totalmente	0	22	0	0	20	0

Tabela 5 - Respostas para a dimensão Competição *Singleplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	8	13	26	29	36	37
Concordo Totalmente	47,4	0	42,1	68,4	5,3	42,1
Concordo Parcialmente	47,4	5,3	52,6	31,6	0	52,6
Indiferente	5,3	0	5,3	0	5,3	5,3
Discordo Parcialmente	0	63,2	0	0	63,2	0
Discordo Totalmente	0	31,6	0	0	26,3	0

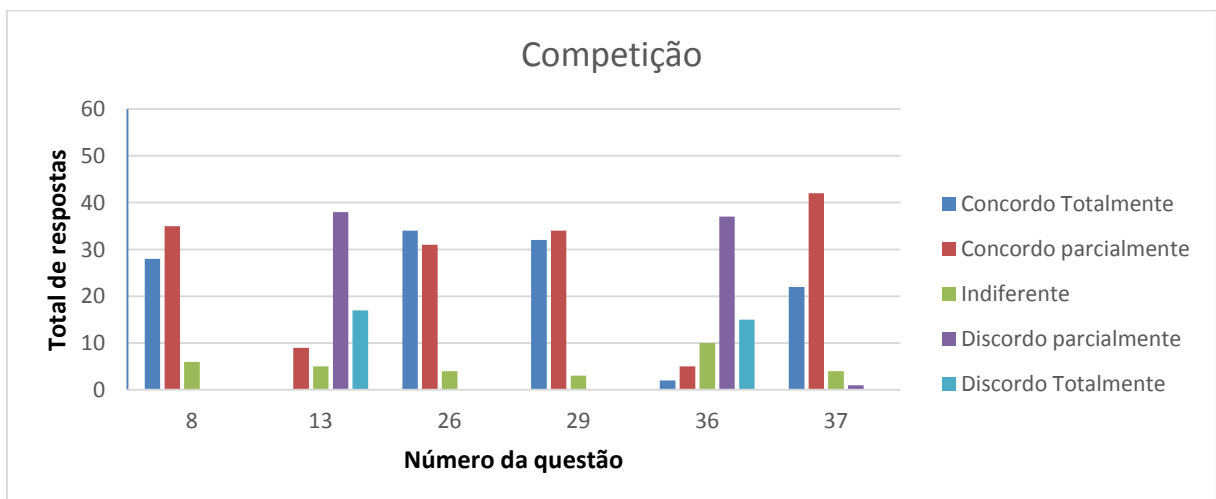


Figura 30 - Total de respostas por pergunta para competição

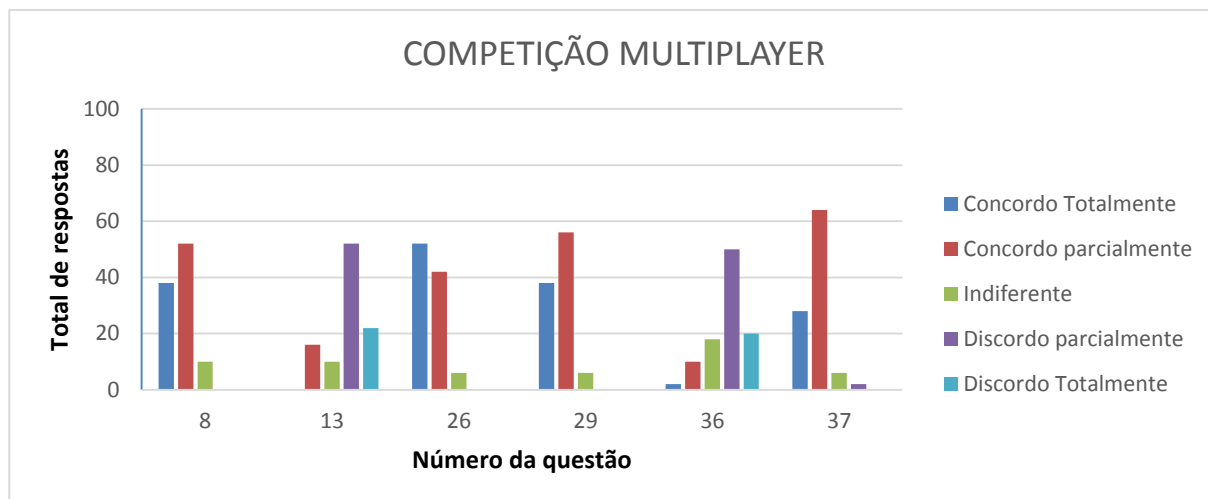


Figura 31 - Total de respostas por pergunta para competição *multiplayer*

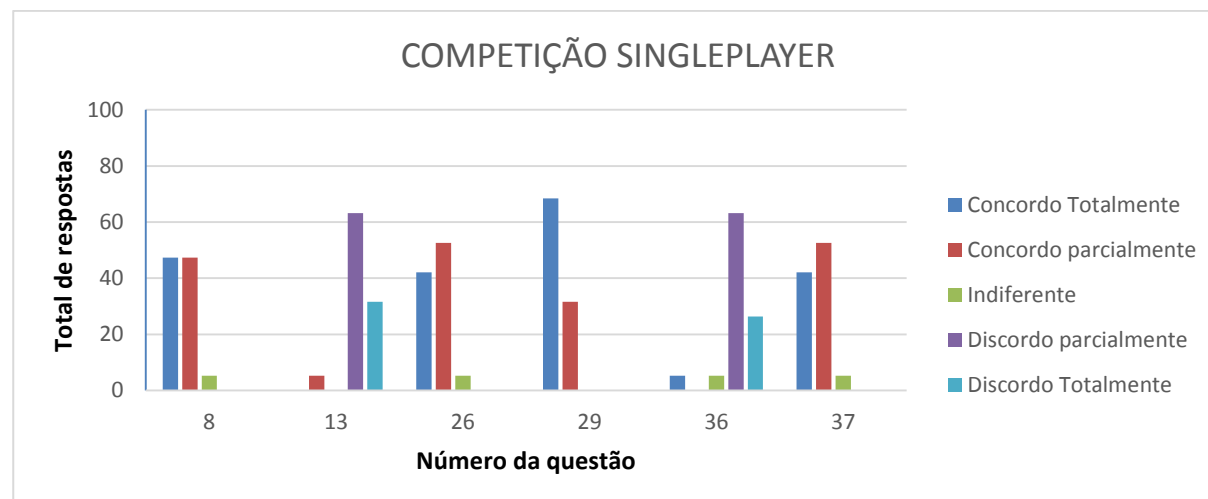


Figura 32 - Total de respostas por pergunta para competição *singleplayer*

5.3.2 Competência

As questões apresentadas pelos gráficos desta dimensão são apresentadas a seguir. As questões estão numeradas de acordo com sua ordem do questionário de experiência GEQ:

- 2 - Eu me senti habilidoso
- 12 - Eu me senti forte
- 17 - Eu fui bem
- 19 - Eu me senti vitorioso
- 23 - Eu consegui atingir os objetivos rapidamente
- 42 - Eu me senti competente

O valor de alfa de Crombach para esta dimensão foi de 0,8665 com um coeficiente limite de 0,8212 sendo classificado como bom. A Tabela 6 demonstra a variação do alfa de acordo com a remoção de certos elementos da tabela para elevar o grau de confiança.

Tabela 6 - Alfa de Crombach para Competência

Remoção de variável - Alfa de Crombach		
Questão	Alfa	Variação
2	0,8455	-0,02761
12	0,9029	0,02978
17	0,8321	-0,04104
19	0,5269	-0,04623
23	0,8503	-0,02284
42	0,8411	-0,03201

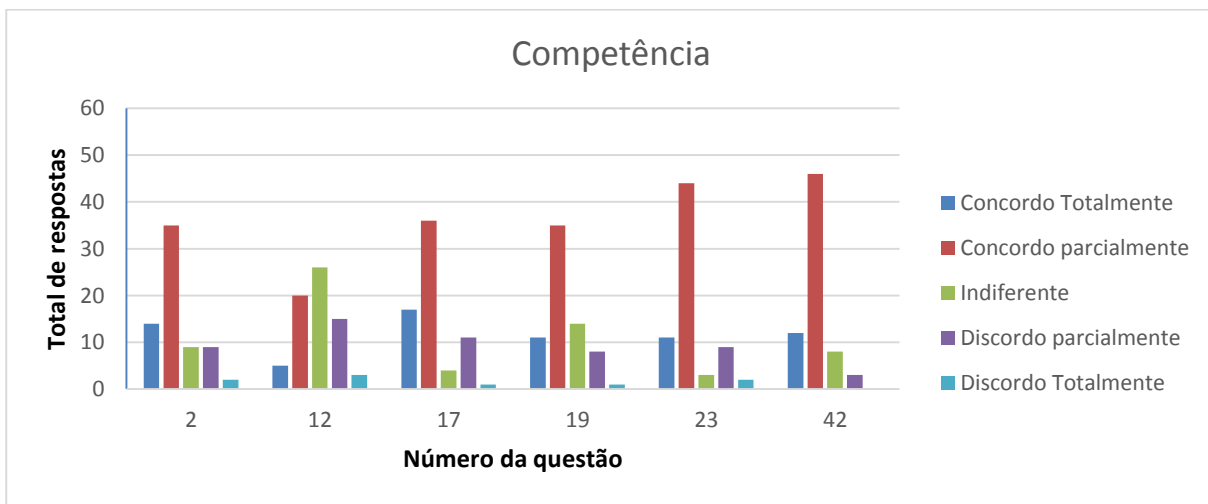
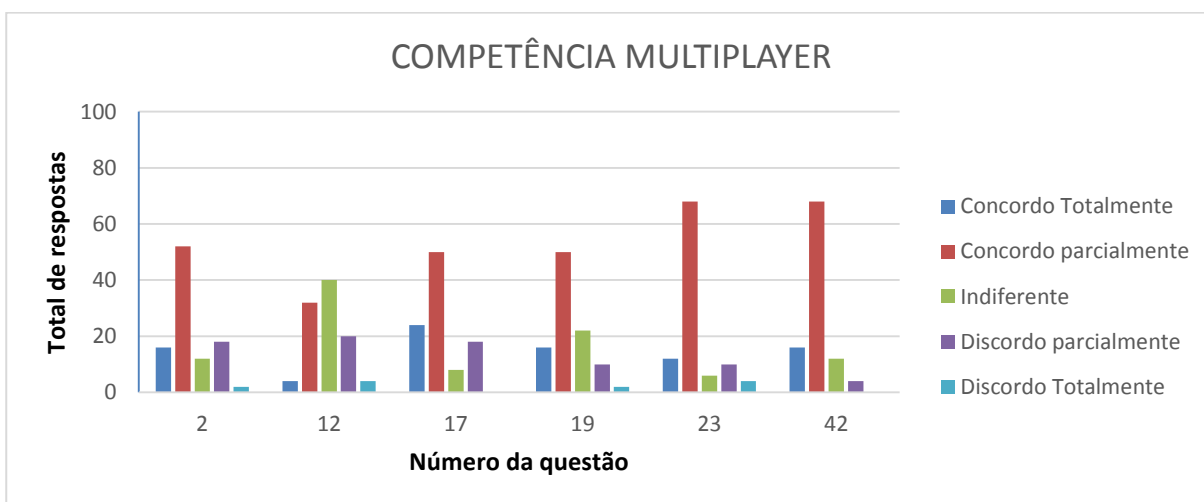
A análise das questões desta dimensão de acordo com as Tabelas 7 e 8 apresenta maior diferença entre os dados das questões 2 e 12. Demonstrando, portanto a tendência de um sentimento de mais força, controle e habilidade durante a seção *singleplayer* (Figura 33,34 e 35).

Tabela 7 - Respostas para a dimensão Competência *Multiplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	2	12	17	19	23	42
Concordo Totalmente	16	4	24	16	2	16
Concordo Parcialmente	52	32	50	50	10	68
Indiferente	12	40	8	22	18	12
Discordo Parcialmente	18	20	18	10	50	4
Discordo Totalmente	2	4	0	2	20	0

Tabela 8 - Respostas para a dimensão *Competência Singleplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	2	12	17	19	23	42
Concordo Totalmente	31,6	15,8	26,3	15,8	26,3	21,1
Concordo Parcialmente	47,4	21,1	57,9	52,6	52,6	63,2
Indiferente	15,8	31,6	0	15,8	0	10,5
Discordo Parcialmente	0	26,3	10,5	15,8	21,1	5,3
Discordo Totalmente	5,3	5,3	5,3	0	0	0

**Figura 33** - Total de respostas por pergunta para competência**Figura 34** - Total de respostas por pergunta para competência *multiplayer*

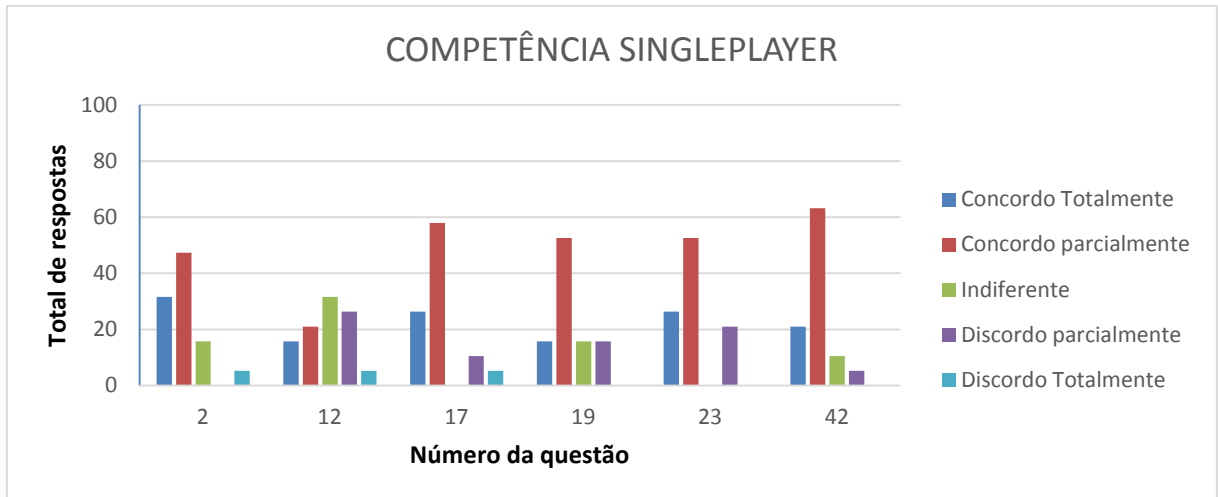


Figura 35 - Total de respostas por pergunta para competência *singleplayer*

5.3.3 Fluidez

As questões apresentadas pelos gráficos desta dimensão são apresentadas a seguir. As questões estão numeradas de acordo com sua ordem do questionário de experiência GEQ:

- 5 - Eu me senti imerso
- 15 - Eu esqueci o resto ao meu redor
- 28 - Eu perdi a noção do tempo
- 31 - Eu estava profundamente concentrado no jogo
- 34 - Eu perdi a conexão com o mundo externo
- 40 - Eu estava totalmente ocupado com o jogo

O valor de alfa de Crombach para esta dimensão foi de 0,8101 com um coeficiente limite de 0,7457 sendo classificado como bom. A Tabela 9 demonstra a variação do alfa de acordo com a remoção de certos elementos da tabela para elevar o grau de confiança.

Tabela 9 - Alfa de Crombach para fluidez

Remoção de variável - Alfa de Crombach		
Questão	Alfa	Variação
5	0,8107	-0,01341
15	0,7685	-0,05558
28	0,7858	-0,03832
31	0,7982	-0,02593
34	0,8220	-0,00207
40	0,7873	-0,03677

A análise das questões desta dimensão de acordo com as Tabelas 10 e 11 apresenta maior diferença entre os dados das questões 15, 28 e 34. Demonstrando, um maior nível concentração durante a seção *singleplayer* (Figura 36, 37 e 38).

Tabela 10 - Respostas para a dimensão Fluidez *Multiplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	5	15	28	31	34	40
Concordo Totalmente	26	28	18	26	6	20
Concordo Parcialmente	46	48	44	70	56	74
Indiferente	20	16	22	2	12	2
Discordo Parcialmente	8	8	16	2	22	4
Discordo Totalmente	0	0	0	0	4	0

Tabela 11 - Respostas para a dimensão Fluidez *Singleplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	5	15	28	31	34	40
Concordo Totalmente	21,1	42,1	42,1	36,8	21,1	36,8
Concordo Parcialmente	52,6	42,1	31,6	42,1	26,3	47,4
Indiferente	15,8	5,3	15,8	5,3	5,3	5,3
Discordo Parcialmente	10,5	10,5	5,3	15,8	31,6	10,5
Discordo Totalmente	0	0	5,3	0	15,8	0

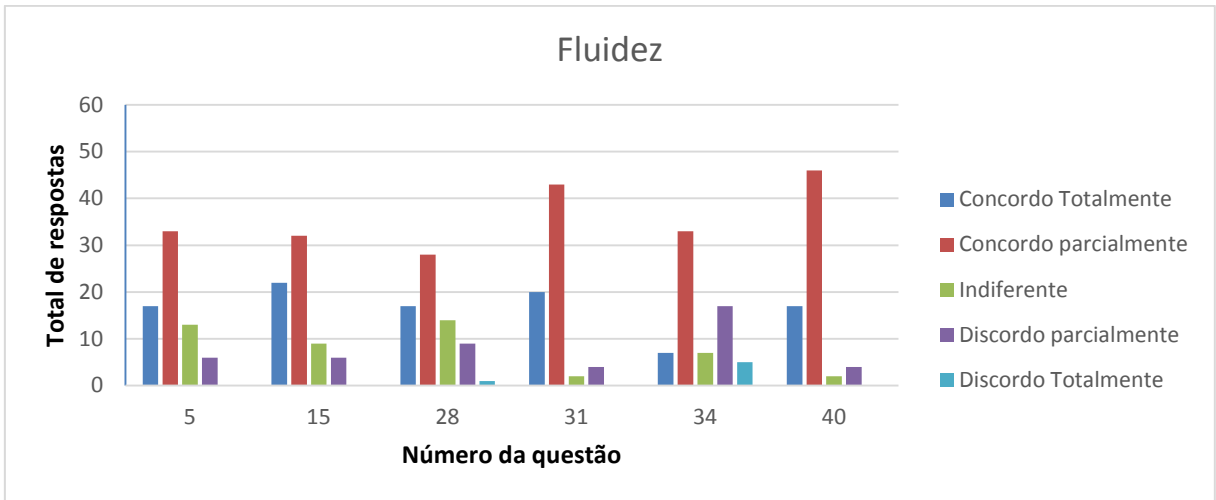


Figura 36 - Total de respostas por pergunta para fluidez

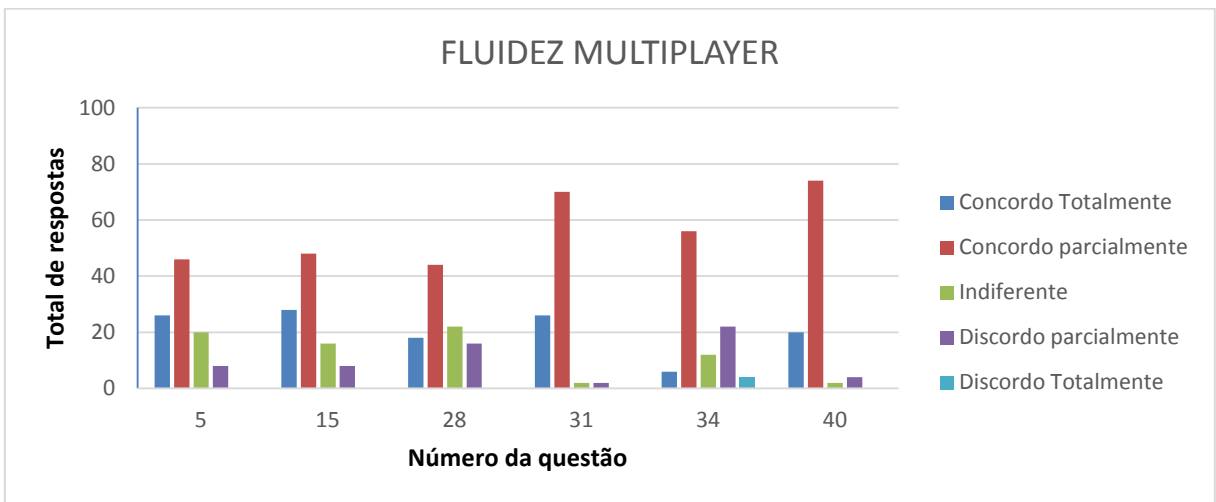


Figura 37 - Total de respostas por pergunta para fluidez *multiplayer*

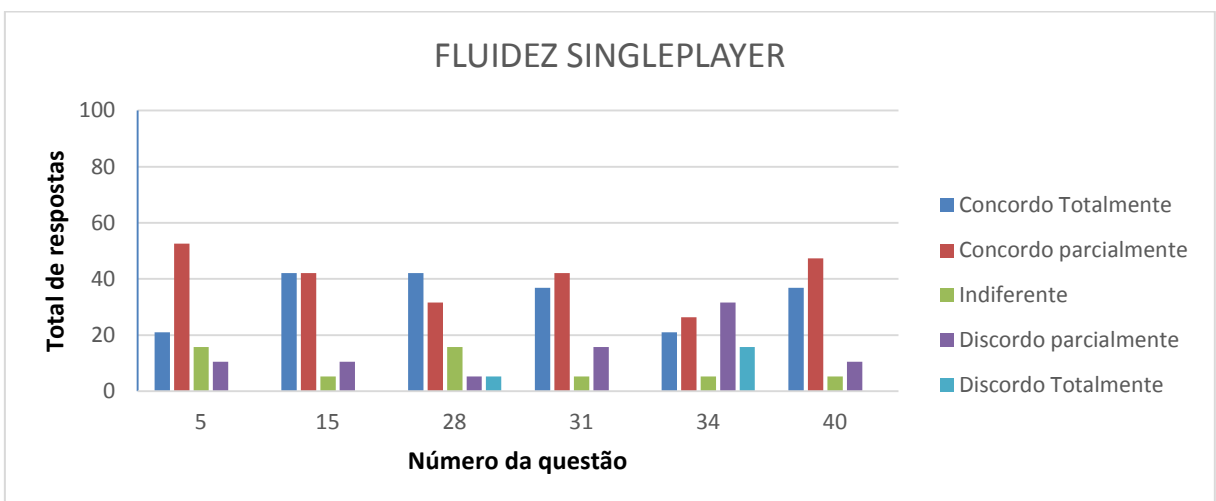


Figura 38 - Total de respostas por pergunta para fluidez *singleplayer*

5.3.4 Efeito Negativo

As questões apresentadas pelos gráficos desta dimensão são apresentadas a seguir. As questões estão numeradas de acordo com sua ordem do questionário de experiência GEQ:

- 10 - Eu pensei sobre outras coisas
- 11 - Eu o achei cansativo/enjoativo
- 18 - Eu me senti entediado
- 25 - Eu estava distraído
- 35 - Eu me senti entediado com a história
- 38 - O jogo me deixou com mau humor

O valor de alfa de Crombach para esta dimensão foi de 0,7688 com um coeficiente limite de 0,6904 sendo classificado como bom. A Tabela 12 demonstra a variação do alfa de acordo com a remoção de certos elementos da tabela para elevar o grau de confiança.

Tabela 12 - Alfa de Crombach para efeito negativo

Remoção de variável - Alfa de Crombach		
Questão	Alfa	Variação
10	0,8069	0,01097
11	0,7460	-0,04989
18	0,7332	-0,07276
25	0,8009	0,00499
35	0,7583	-0,03763
38	0,7409	-0,05504

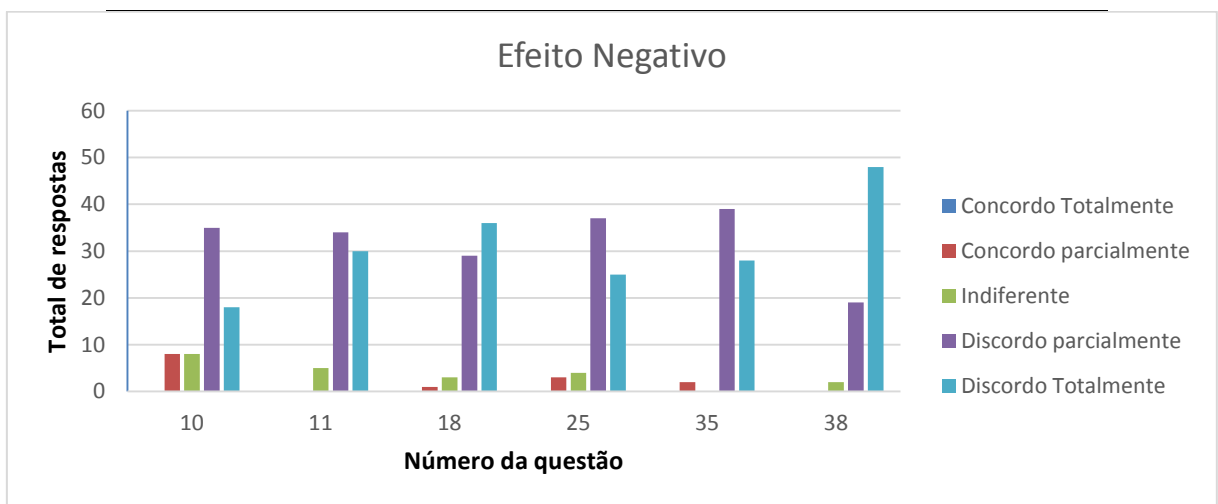
A análise das questões desta dimensão de acordo com as Tabelas 13 e 14 apresenta maior diferença entre os dados das questões 11 e 38. O jogo demonstra ser mais cansativo no modo *multiplayer* devido às características do modo. Há também um resultado baixo quanto ao humor, contudo, eles se justificam pelo fato de que em um modo *multiplayer* competitivo alguém deve sair perdendo (Figura 39, 40 e 41).

Tabela 13 - Respostas para a dimensão Efeito Negativo *Multiplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	10	11	18	25	35	38
Concordo Totalmente	0	0	0	0	0	0
Concordo Parcialmente	16	0	2	0	2	0
Indiferente	12	8	6	6	0	4
Discordo Parcialmente	50	58	44	60	58	32
Discordo Totalmente	22	34	48	34	40	64

Tabela 14 - Respostas para a dimensão Efeito Negativo *Singleplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	5	15	28	31	34	40
Concordo Totalmente	0	0	0	0	0	0
Concordo Parcialmente	0	0	0	15,8	5,3	0
Indiferente	10,5	5,3	0	5,3	0	0
Discordo Parcialmente	52,6	26,3	36,8	36,8	52,6	15,8
Discordo Totalmente	36,8	68,4	63,2	42,1	42,1	84,2

**Figura 39** - Total de respostas por pergunta para efeito negativo

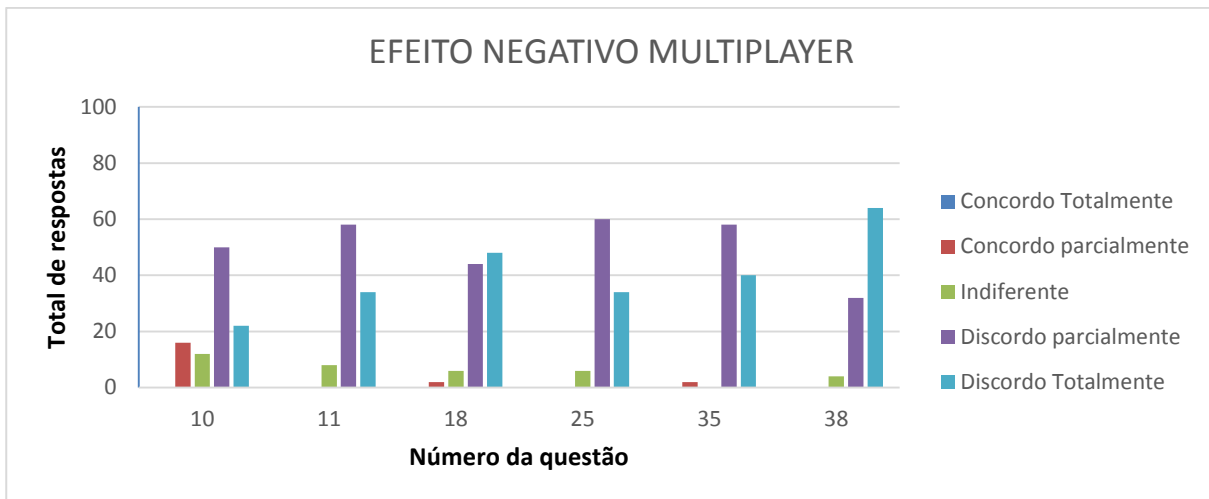


Figura 40 - Total de respostas por pergunta para efeito negativo *multiplayer*

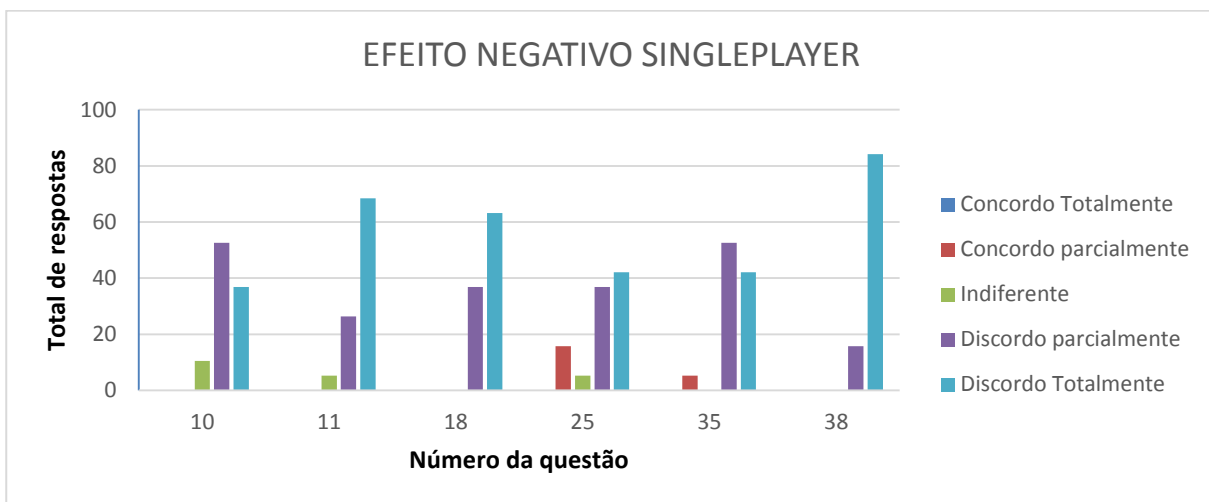


Figura 41 - Total de respostas por pergunta para efeito negativo *singleplayer*

5.3.5 Efeito Positivo

As questões apresentadas pelos gráficos desta dimensão são apresentadas a seguir. As questões estão numeradas de acordo com sua ordem do questionário de experiência GEQ:

- 1 - Eu me senti contente
- 4 - Eu poderia rir com o jogo
- 6 - Eu me senti feliz
- 16 - Eu me senti bem
- 22 - Eu gostei
- 41 - Eu achei divertido

O valor de alfa de Crombach para esta dimensão foi de 0,9039 com um coeficiente limite de 0,8713 sendo classificado como excelente. A Tabela 15 demonstra a variação do alfa de acordo com a remoção de certos elementos da tabela para elevar o grau de confiança.

Tabela 15 - Alfa de Crombach para efeito positivo

Remoção de variável - Alfa de Crombach		
Questão	Alfa	Variação
1	0,08995	-0,00951
4	0,8933	-0,01574
6	0,8843	-0,02474
16	0,8925	-0,01658
22	0,8916	-0,01742
41	0,8953	-0,01375

A análise das questões desta dimensão de acordo com as Tabelas 16 e 17 apresenta maior diferença entre os dados das questões 1 e 6. Demonstrando, um maior nível satisfação e contentamento com o modo *multiplayer*. (Figura 42, 43 e 44)

Tabela 16 - Repostas Efeito Positivo *Multiplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	1	4	6	16	22	41
Concordo Totalmente	32	46	42	34	56	48
Concordo Parcialmente	58	52	46	60	44	52
Indiferente	8	2	12	6	0	0
Discordo Parcialmente	2	0	0	0	0	0
Discordo Totalmente	0	0	0	0	0	0

Tabela 17 - Repostas Efeito Positivo *Singleplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	1	4	6	16	22	41
Concordo Totalmente	26,3	57,9	31,6	42,1	63,2	57,9
Concordo Parcialmente	47,4	36,8	57,9	52,6	36,8	42,1
Indiferente	21,1	5,3	10,5	5,3	0	0
Discordo Parcialmente	5,3	0	0	0	0	0
Discordo Totalmente	0	0	0	0	0	0

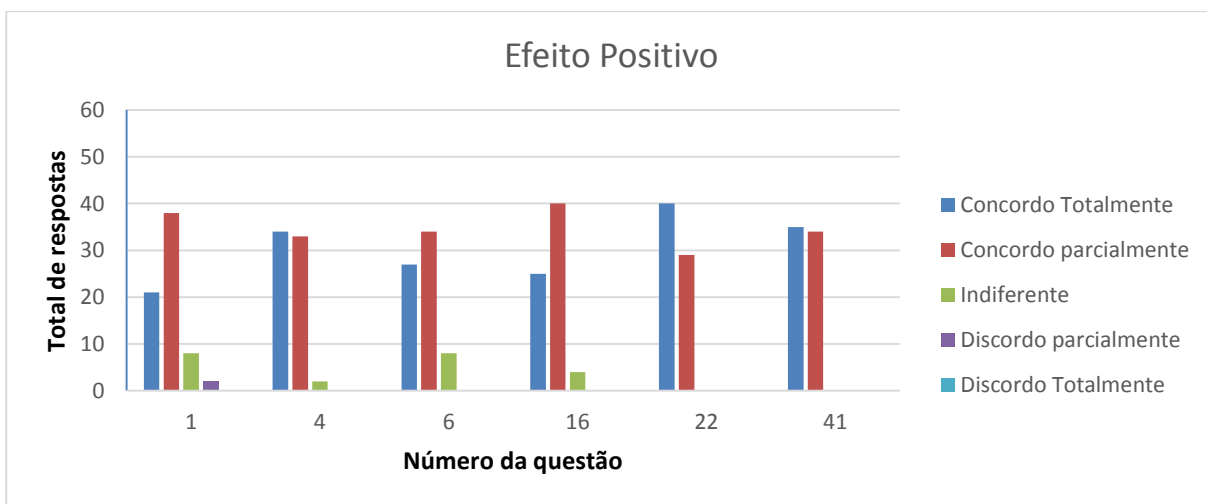
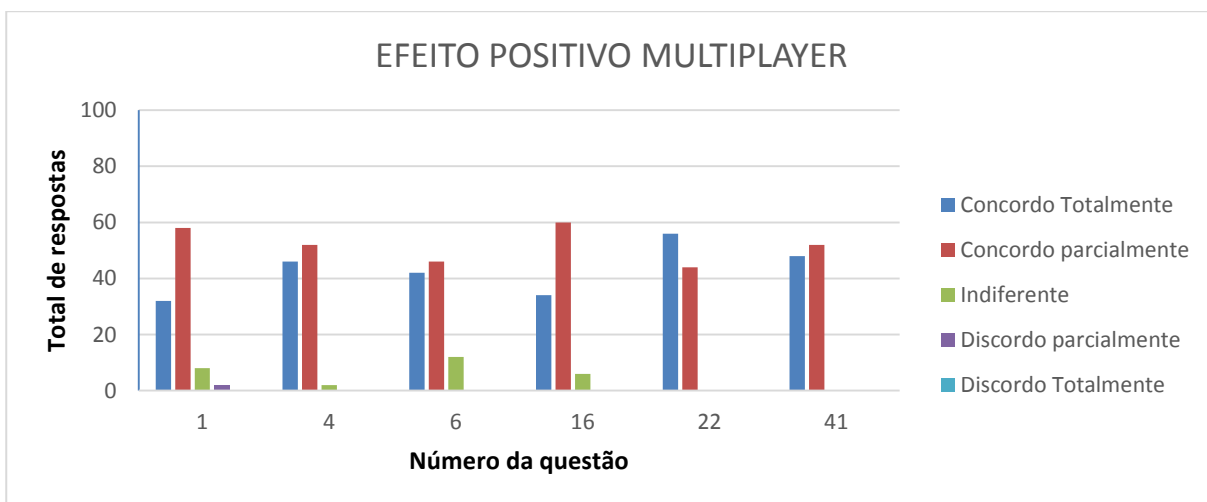


Figura 42 - Total de respostas por pergunta para efeito positivo

Figura 43 - Total de respostas por pergunta para efeito positivo *multiplayer*

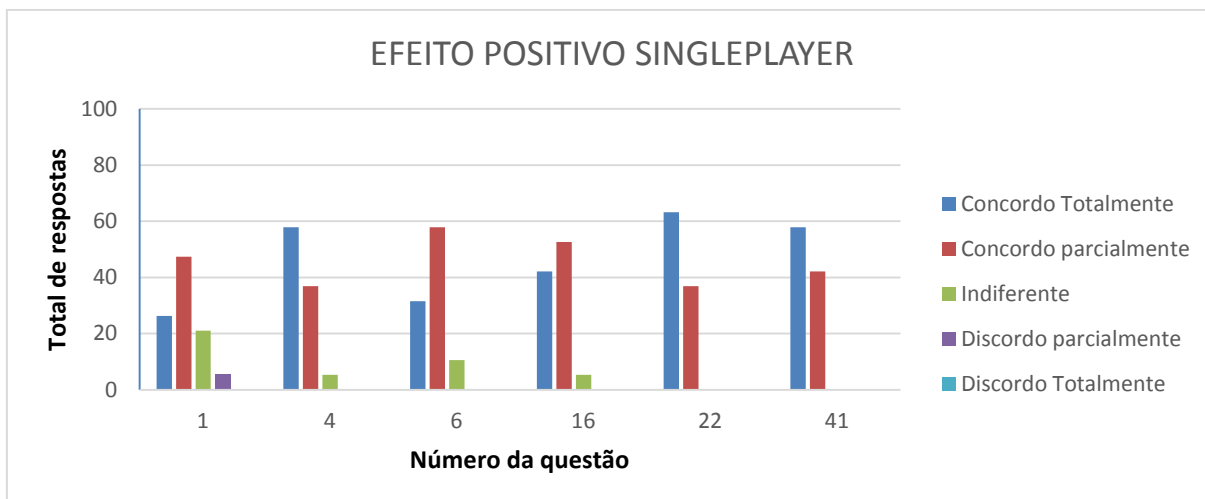


Figura 44 - Total de respostas por pergunta para efeito positivo *singleplayer*

5.3.6 Imersão

As questões apresentadas pelos gráficos desta dimensão são apresentadas a seguir. As questões estão numeradas de acordo com sua ordem do questionário de experiência GEQ:

- 3 - Eu estava interessado no jogo
- 14 - O jogo era esteticamente agradável
- 20 - Eu me senti imaginativo
- 21 - Eu senti que podia explorar coisas
- 30 - Eu o achei impressionante
- 33 - Eu senti uma experiência completa/rica

O valor de alfa de Crombach para esta dimensão foi de 0,8179 com um coeficiente limite de 0,7560 sendo classificado como bom. A Tabela 18 demonstra a variação do alfa de acordo com a remoção de certos elementos da tabela para elevar o grau de confiança.

Tabela 18 - Alfa de Crombach para imersão

Remoção de variável - Alfa de Crombach		
Questão	Alfa	Variação
3	0,8110	-0,00819
14	0,7927	-0,02653
20	0,7880	-0,03122
21	0,7738	-0,04537
30	0,7888	-0,03038
33	0,7878	-0,03142

A análise das questões desta dimensão de acordo com as Tabelas 19 e 20 apresenta maior diferença entre os dados das questões 3. Demonstrando, um maior interesse no modo *multiplayer*, mas apresentando características gráficas e de experiência equivalentes entre os dois modos, o que também faz sentido nesta questão em função de que os modos de jogo são parecidos entre si. (Figura 45, 46 e 47)

Tabela 19 - Respostas para a dimensão Imersão *Multiplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	3	14	20	21	30	33
Concordo Totalmente	44	38	24	26	12	24
Concordo Parcialmente	56	58	54	58	68	66
Indiferente	0	4	18	16	20	6
Discordo Parcialmente	0	0	4	0	0	4
Discordo Totalmente	0	0	0	0	0	0

Tabela 20 - Respostas para a dimensão Imersão *Singleplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	3	14	20	21	30	33
Concordo Totalmente	63,2	31,6	10,5	21,1	15,8	21,1
Concordo Parcialmente	31,6	57,9	63,2	63,2	73,7	68,4
Indiferente	5,3	10,5	21,1	10,5	10,5	10,5
Discordo Parcialmente	0	0	5,3	5,3	0	0
Discordo Totalmente	0	0	0	0	0	0

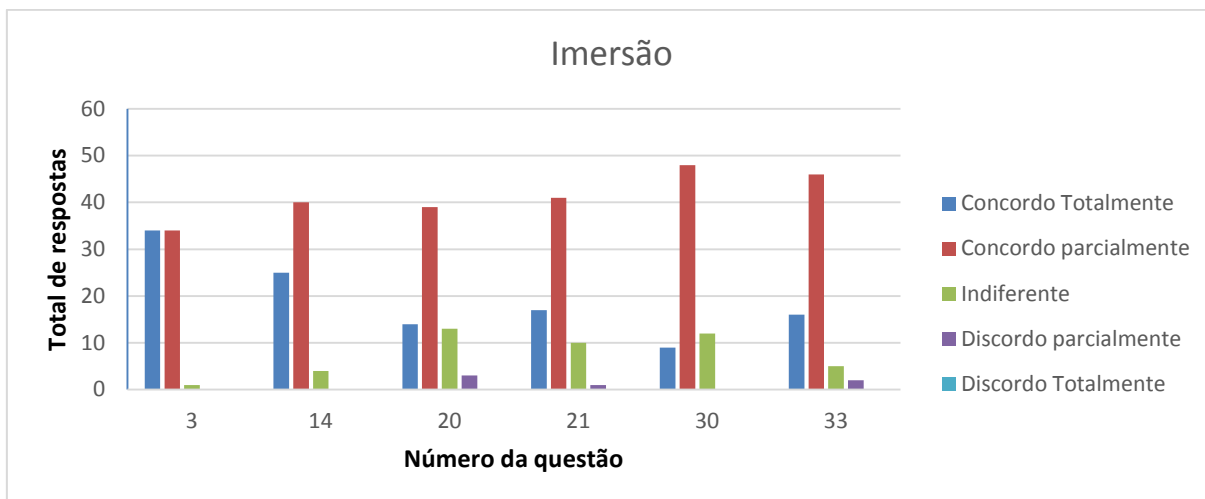


Figura 45 - Total de respostas por pergunta para imersão

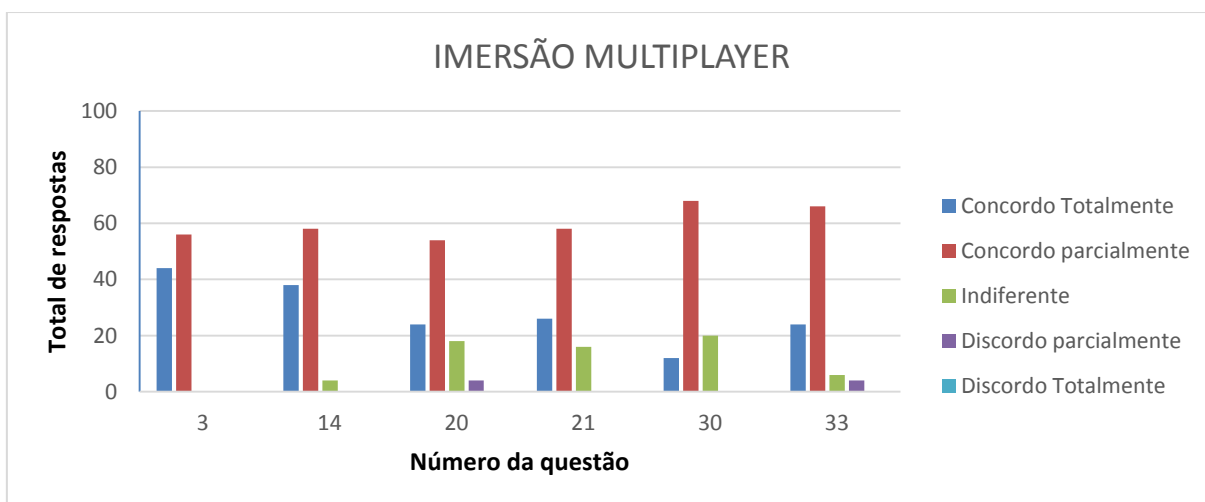


Figura 46 - Total de respostas por pergunta para imersão *multiplayer*

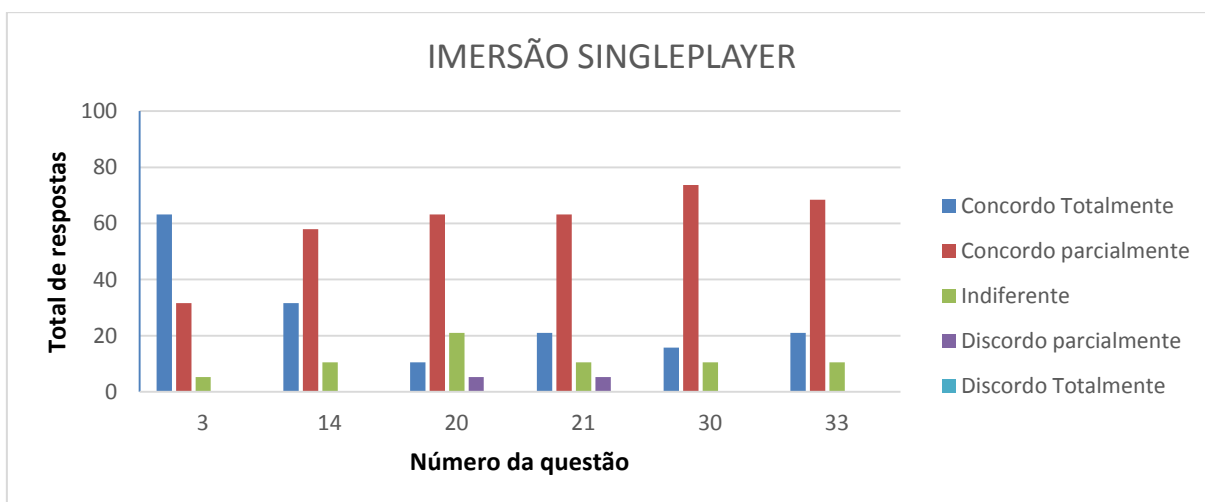


Figura 47 - Total de respostas por pergunta para imersão *singleplayer*

5.3.7 Tensão

As questões apresentadas pelos gráficos desta dimensão são apresentadas a seguir. As questões estão numeradas de acordo com sua ordem do questionário de experiência GEQ:

- 7 - Eu me senti tenso
- 9 - Eu me senti cansado
- 24 - Eu fui incomodado
- 27 - Eu me senti irritado
- 32 - Eu me senti frustrado
- 39 - Eu me senti pressionado

O valor de alfa de Crombach para esta dimensão foi de 0,8445 com um coeficiente limite de 0,7918 sendo classificado como bom. A Tabela 21 demonstra a variação do alfa de acordo com a remoção de certos elementos da tabela para elevar o grau de confiança.

Tabela 21 - Alfa de Crombach para Tensão

Remoção de variável - Alfa de Crombach		
Questão	Alfa	Variação
7	0,8511	-0,01210
9	0,8395	-0,02364
24	0,8090	-0,05422
27	0,8416	-0,02155
32	0,8263	-0,03691
39	0,8686	0,00538

A análise das questões desta dimensão de acordo com as Tabelas 22 e 23 apresenta maior diferença entre os dados das questões 9, 24, 27 e 32. Demonstrando, níveis menores de tensão no modo *singleplayer*, que também se justificam pelo fato de não haver competição. (Figura 48, 49 e 50)

Tabela 22 - Repostas Tensão *Multiplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	7	9	24	27	32	39
Concordo Totalmente	4	0	0	0	0	0
Concordo Parcialmente	12	2	6	4	4	10
Indiferente	16	6	2	2	2	6
Discordo Parcialmente	48	56	44	46	44	36
Discordo Totalmente	20	36	48	48	50	48

Tabela 23 - Repostas Tensão *Singleplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão						
Questão	7	9	24	27	32	39
Concordo Totalmente	5,3	0	0	0	0	5,3
Concordo Parcialmente	5,3	0	5,3	0	10,5	21,1
Indiferente	21,1	5,3	5,3	0	5,3	10,5
Discordo Parcialmente	47,4	31,6	15,8	15,8	10,5	15,8
Discordo Totalmente	21,1	63,2	73,7	84,2	73,7	47,4

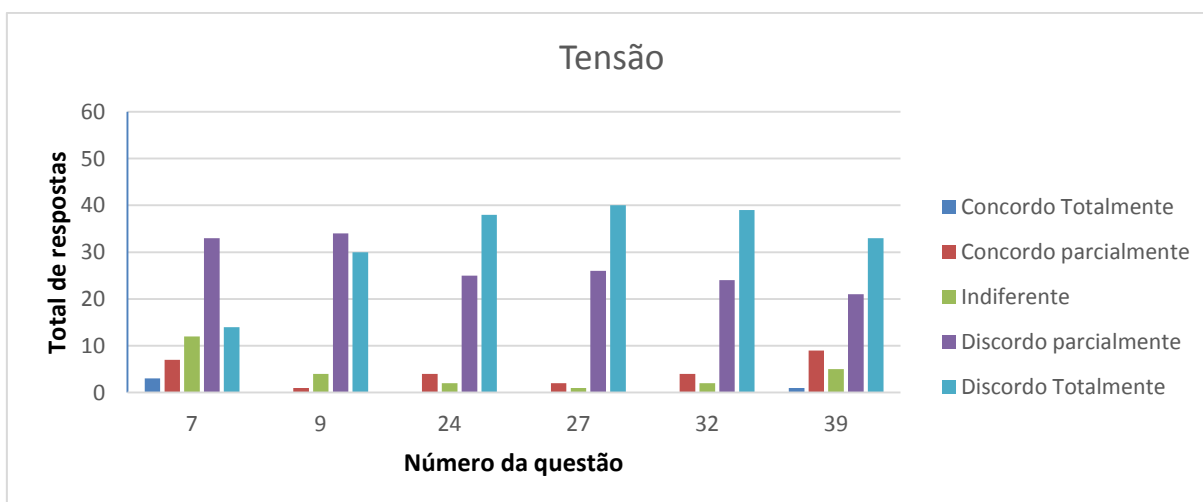


Figura 48 - Total de respostas por pergunta para tensão

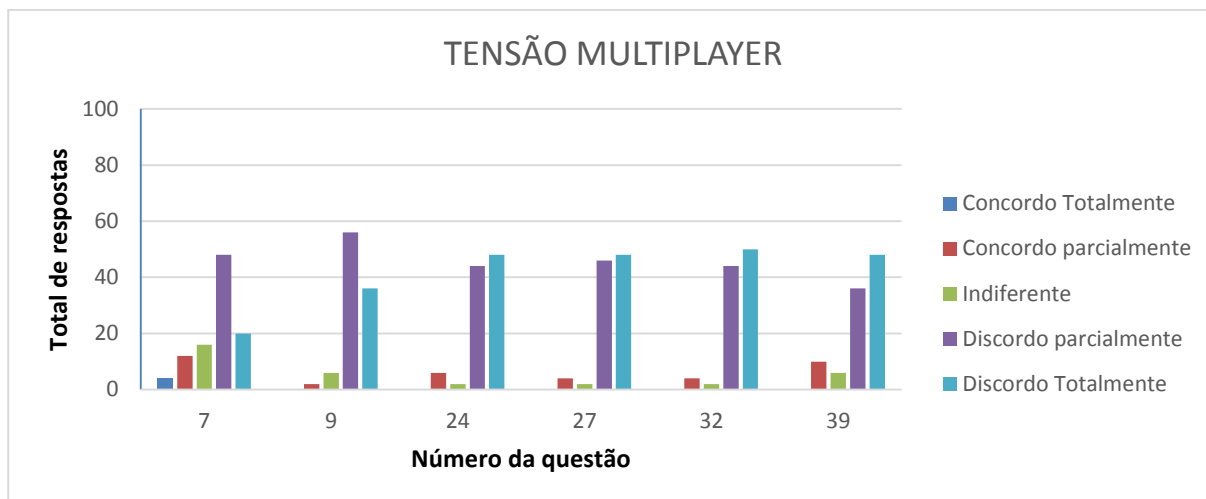


Figura 49 - Total de respostas por pergunta para tensão *multiplayer*

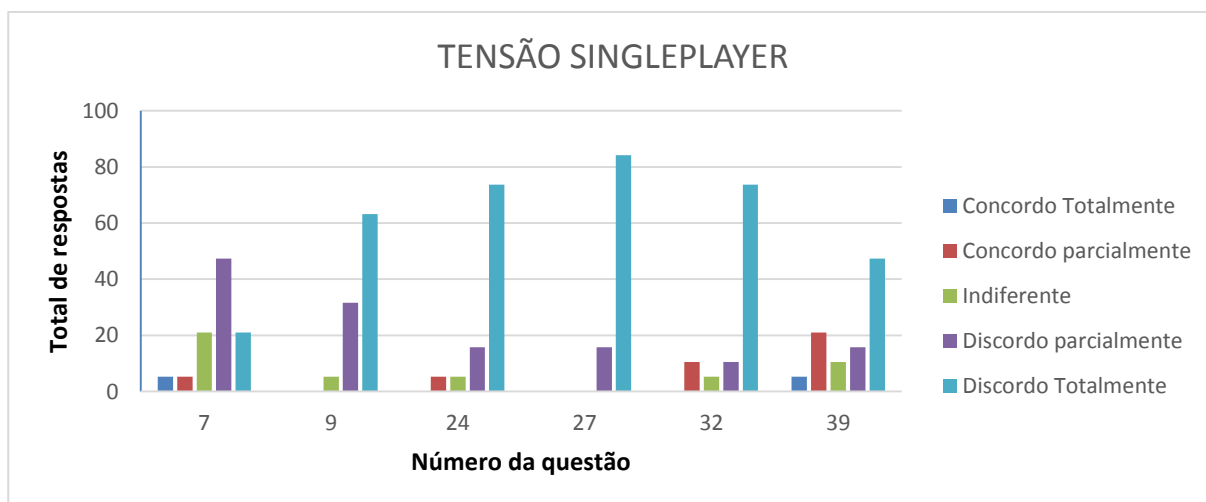


Figura 50 - Total de respostas por pergunta para tensão *singleplayer*

5.4 Análise dos resultados do teste de funcionalidade CUEQ

As questões apresentadas nesta seção são referentes ao teste de funcionalidade do sistema e estão numeradas de acordo com a sua ordem no questionário de avaliação:

- 1 - O jogo permite movimento de membros superiores;
- 2 - O jogo permite movimento de ombros;
- 3 - O jogo permite movimento de cotovelos;
- 4 - O jogo permite movimento de punhos;
- 5 - O jogo permite movimento de flexão dos ombros;
- 6 - O jogo permite movimento de abdução dos ombros;
- 7 - Os movimentos do jogo são funcionais para membros superiores.

Os dados apresentados pelas Tabelas 24 e 25 representam a avaliação da escala CUE. A partir da análise verificou-se que ambos os modos de jogo apresentam resultados próximos. Para o item 5 deste teste, os resultados apresentam maior variação entre as respostas em razão de que a flexão do ombro se baseia no movimento do braço para frente, portanto apenas alguns participantes realizaram este movimento. Este movimento para frente não é medido pelo sistema, apenas o movimento de abdução lateral. O movimento de flexão do ombro ocorre com o deslocamento do braço à frente para alcançar ou levantar o membro. Embora não seja ideal para este jogo pois não se faz a medida da flexão através da goniometria, o movimento é benéfico para o paciente. O jogo permite que se posicionem os braços levemente para frente durante o ato de pegar uma fruta, portanto esta indecisão mostra que algum controle de flexão deveria ser implementado (Figura 51, 52 e 53).

Tabela 24 - Respostas para CUE *Multiplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão							
Questão	1	2	3	4	5	6	7
Concordo Totalmente	66,7	53,8	59,0	38,5	17,9	79,5	41,0
Concordo Parcialmente	33,3	43,6	35,9	51,3	25,6	17,9	46,2
Indiferente	0	0	0	5,1	12,8	2,6	2,6
Discordo Parcialmente	0	0	2,6	5,1	25,6	0	5,1
Discordo Totalmente	0	2,6	0	0	17,9	0	5,1

Tabela 25 - Respostas para CUE *Singleplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão							
Questão	1	2	3	4	5	6	7
Concordo Totalmente	84,2	63,2	52,6	26,3	26,3	73,7	63,2
Concordo Parcialmente	15,8	36,8	47,4	57,9	36,8	26,3	36,8
Indiferente	0	0	0	10,5	10,5	0	0
Discordo Parcialmente	0	0	0	0	15,8	0	0
Discordo Totalmente	0	0	0	5,3	10,5	0	0

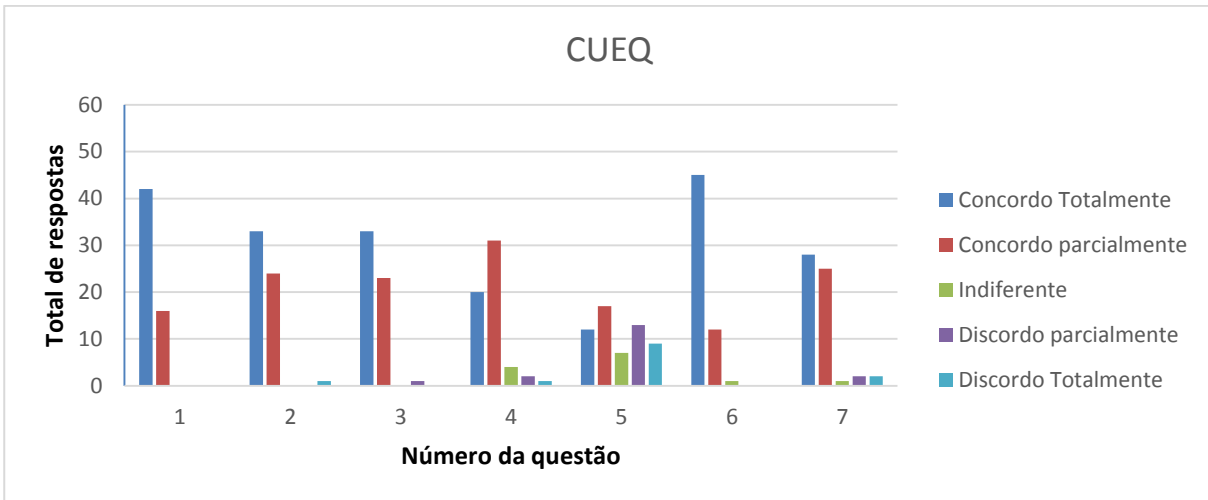


Figura 51 - Total de respostas por pergunta para CUE teste

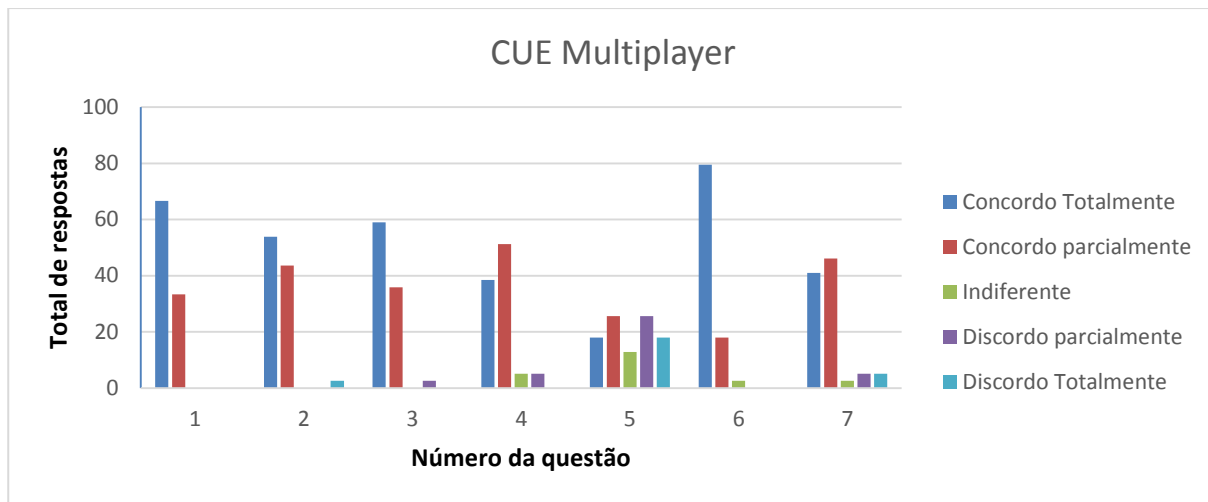


Figura 52 - Total de respostas por pergunta para CUE teste *multiplayer*

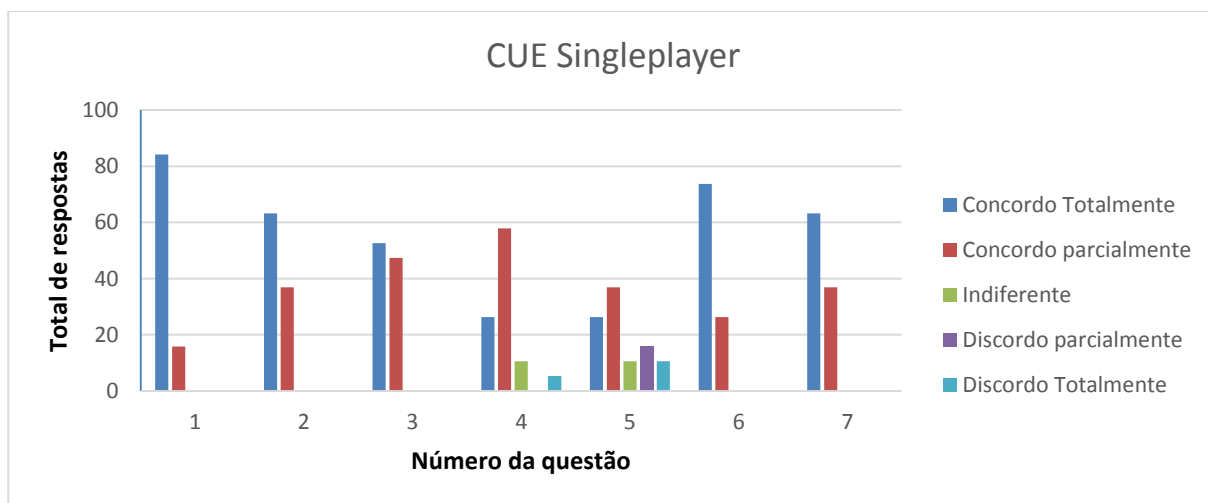


Figura 53 - Total de respostas por pergunta para CUE teste *singleplayer*

5.4.1 Análise RPE

Os dados apresentados pelas Tabelas 26 e 27 representam a avaliação da escala BORG de cansaço e esforço dos participantes durante as seções de jogo.

A análise das questões sobre RPE evidenciou uma significativa diferença entre os dois modos de jogo, onde os participantes que jogaram o modo *multiplayer* relataram mais esforço físico e cansaço em seus questionários de resposta.

Embora as duas questões foram reapresentadas pelo GEQ as mesmas tratam uma questão específica utilizando respostas diferentes das apresentadas pelo GEQ e estão aqui, representando o contexto funcional

As questões apresentadas nesta seção são referentes ao teste de funcionalidade do sistema e estão numeradas de acordo com a sua ordem no questionário de avaliação:

- 8 – Avalie quanto ao esforço físico;
- 9 – Avalie quanto ao cansaço;

Tabela 26 - Repostas para RPE *Multiplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão		
Questão	8	9
Esforço extremo	0	2,6
Muito esforço	0	0
Esforço moderado	20,5	2,6
Pouco esforço	48,7	20,5
Nenhum esforço	30,8	74,4

Tabela 27 - Repostas para RPE *Singleplayer*

Porcentagem de respostas para cada questão		
	8	9
Cansaço extremo	0	0
Muito /cansaço	0	0
Cansaço moderado	0	0
Pouco cansaço	31,6	0
Nenhum cansaço	68,4	100

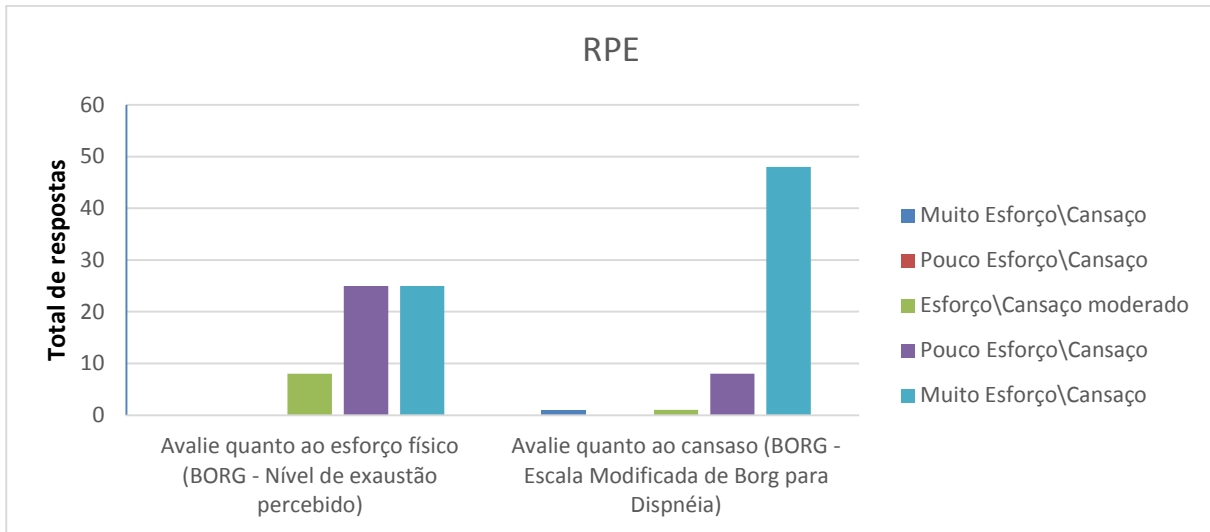


Figura 54 - Total de respostas por pergunta para RPE

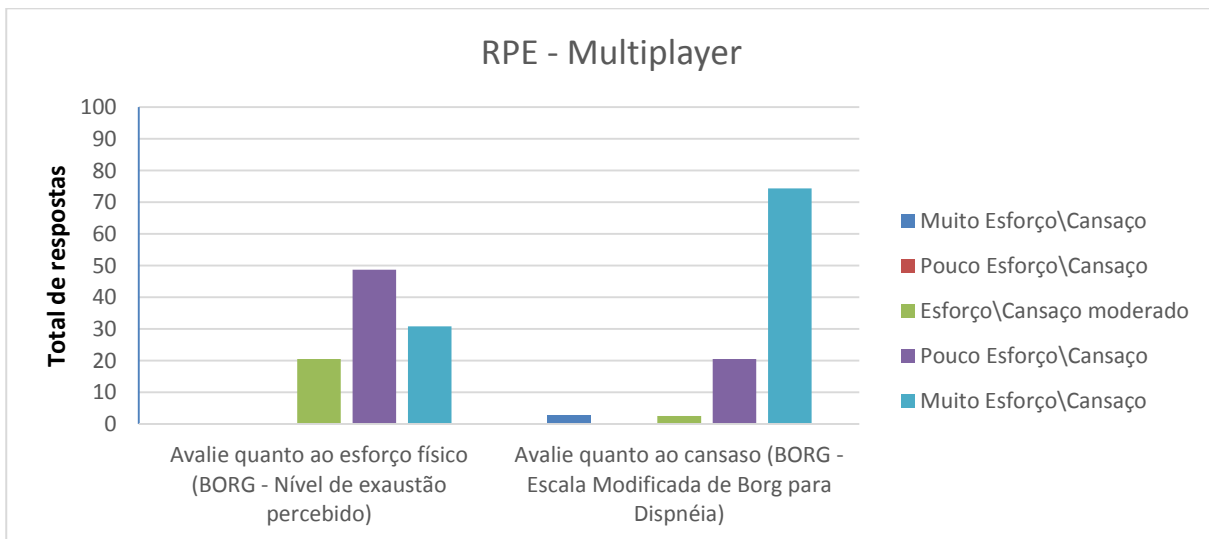


Figura 55 - Total de respostas por pergunta para RPE Multiplayer

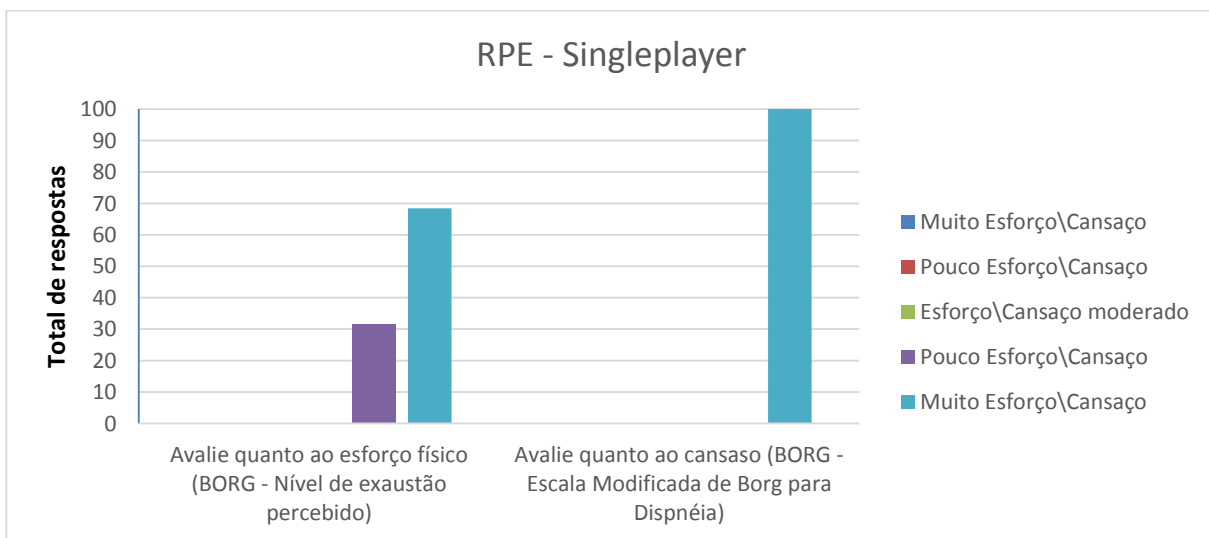


Figura 56 - Total de respostas por pergunta para RPE Singleplayer

5.5 Resultados do jogo

Apresenta-se a seguir a tabela referente as pontuações obtidas durante as seções de jogos. A pontuação está organizada de acordo com os resultados de cada modo de jogo (Figura 57). A partir das configurações de dificuldade selecionadas notou-se que em geral os jogadores do modo *singleplayer* obtiveram uma pontuação mais elevada do que os participantes do modo *multiplayer*. De acordo com os vídeos gravados e da variância do teste de RPE, que apresentou uma variância $F=9,6581$ contra um $FCrit=4,013$, foi notado que os participantes do modo *multiplayer* tendem a se esforçar mais para atingir os objetivos e por vezes podiam tentar realizar as ações mais rapidamente aumentando assim os erros e, portanto, diminuindo sua pontuação final, enquanto os participantes do modo *singleplayer* tendem a se concentrar mais durante a partida sem interferência de um competidor.

Um problema notado durante a aquisição dos primeiros testes realizados era a falta de experiência com a utilização do sistema de entrada, portanto um jogo teste era necessário para habituar os participantes. Portanto alguns dos dados de pontuação precisaram ser eliminados da tabela final por terem sido prejudicados por esta falta de experiência.

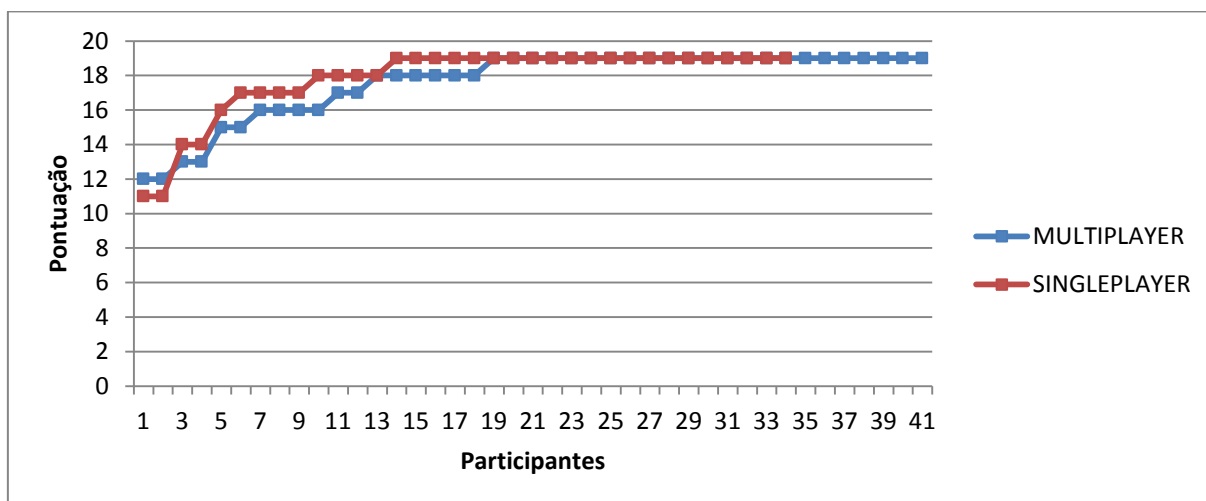


Figura 57 - Pontuação total por participante

5.6 Tabelas de Dados

A sequência de gráficos a seguir representa o padrão de ângulos obtido através dos testes com os participantes especialistas da área de fisioterapia. A capacidade e evolução de um paciente pode ser avaliada comparando o seu gráfico com os gráficos dos níveis padrões.

Estas informações representam as informações de *feedback* do sistema, onde o fisioterapeuta pode verificar a eficiência do tratamento e fazer o acompanhamento dos dados do paciente.

5.6.1 Cotovelo Direito

As figuras 58, 59, e 60 apresentam os dados relativos a flexão e extensão do cotovelo direito dos participantes. Podemos analisar segundo estes dados que os valores de angulações se encontram dentro do estipulado pelas referencias de goniometria, variando entre 56° e 178° . Como os dados testados são interpretados inversamente ao goniômetro original, os dados representam uma variação entre 2° e 125° , ficando dentro da margem de 0 e $140^\circ/150^\circ$.

A figura 61 apresenta a sobreposição dos dados dos dois modos de jogo, indicando que os dois modos de jogo apresentam a mesma variação. A figura 62 apresenta o total de ângulos obtidos formando assim um padrão entre todos os participantes do jogo.

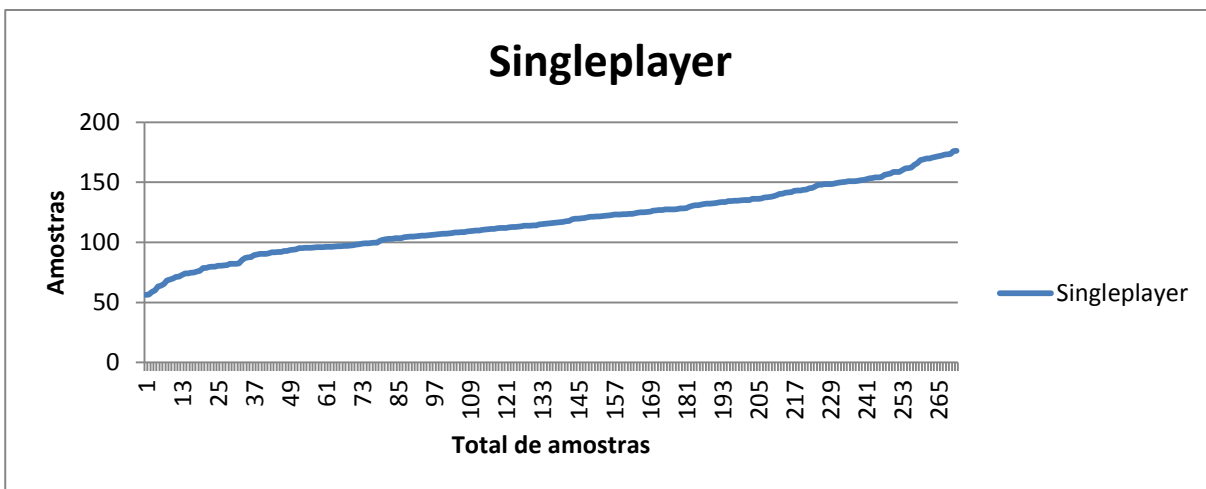


Figura 58 - Amostras por ângulo obtido singleplayer para cotovelo direito

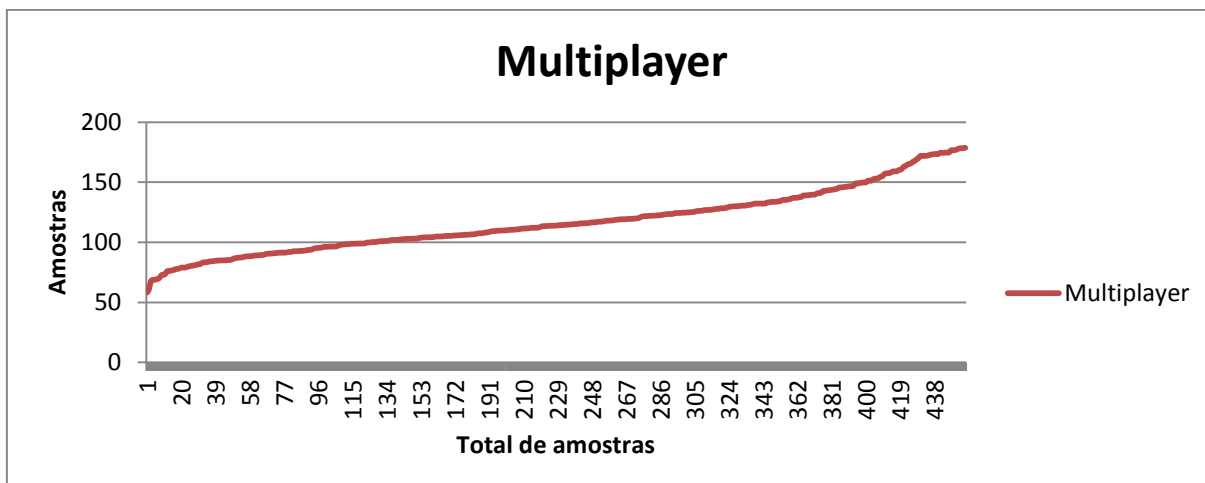


Figura 59 - Amostras por ângulo obtido *multiplayer* para cotovelo direito

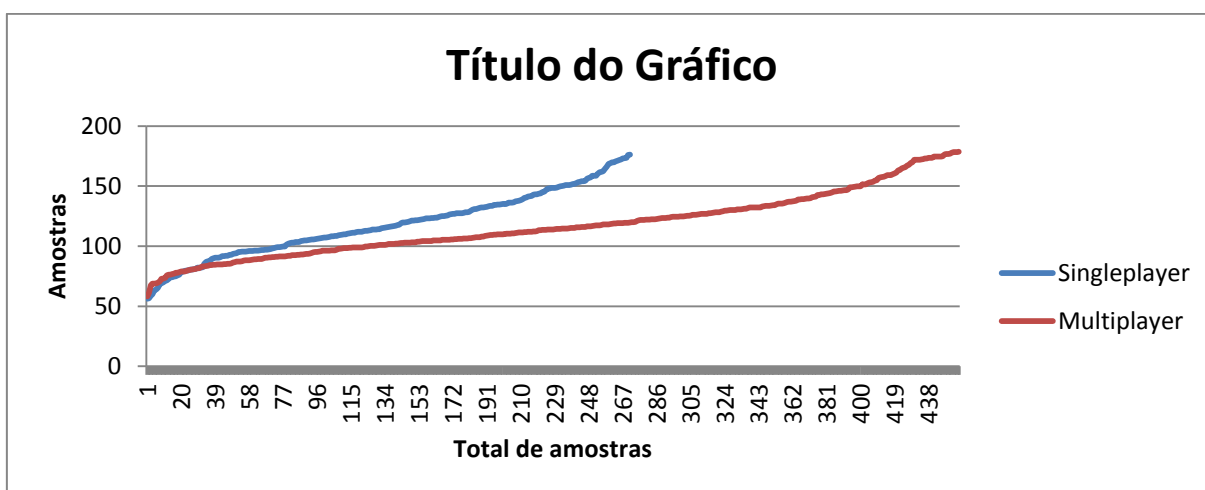


Figura 60 - Amostras por ângulo obtido totais para cotovelo direito

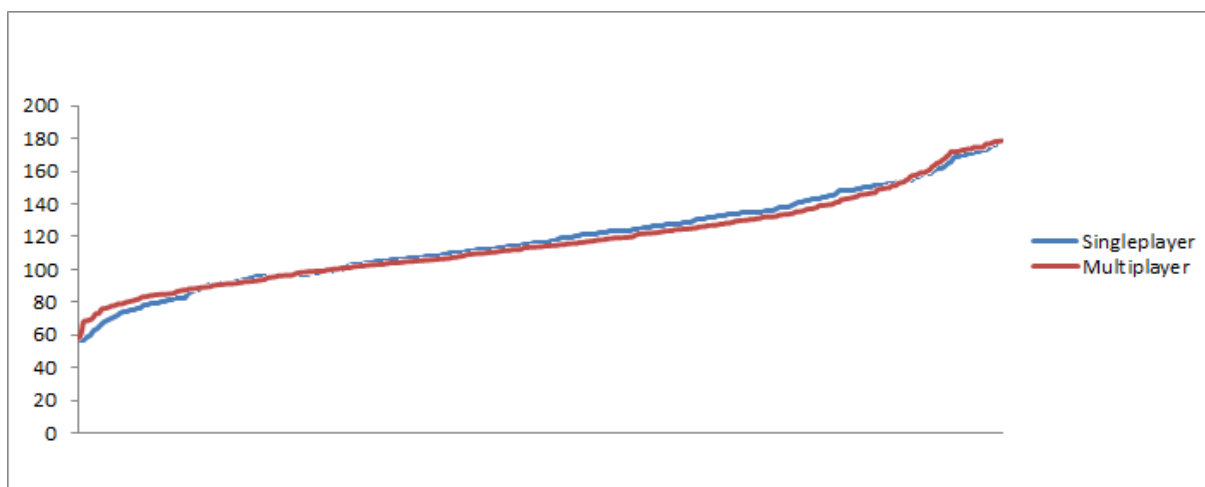


Figura 61 - Amostras por ângulo obtido totais para cotovelo direito sobrepostas

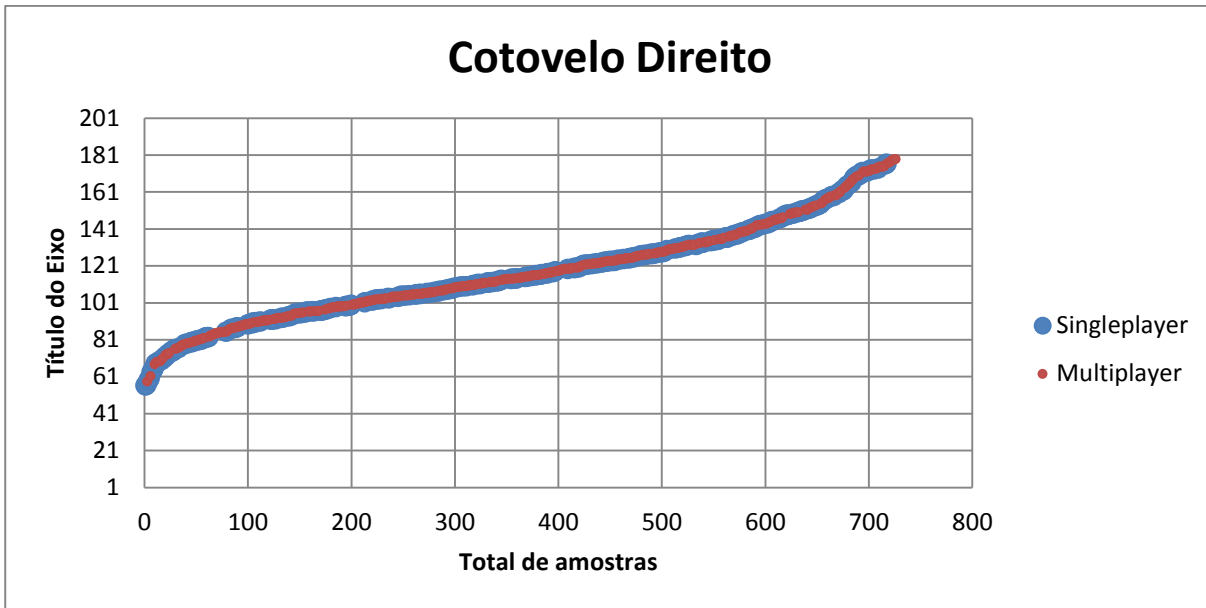


Figura 62 - Padrão total final para cotovelo direito

5.6.2 Cotovelo Esquerdo

As figuras 63, 64 e 65 apresentam os dados relativos a flexão e extensão do cotovelo esquerdo dos participantes. Os dados de flexão do cotovelo esquerdo também estão dentro do padrão, variando entre 45° e 178°. Os dados representam uma variação entre 2° e 135°, também ficando dentro da margem de 0° e 140°/150°.

A figura 66 apresenta a sobreposição dos dados dos dois modos de jogo, indicando que os jogadores do modo *multiplayer* obtiveram ângulos de flexão menores em relação ao *singleplayer*. A figura 67 apresenta o total de ângulos obtidos formando o padrão entre todos os participantes do jogo.

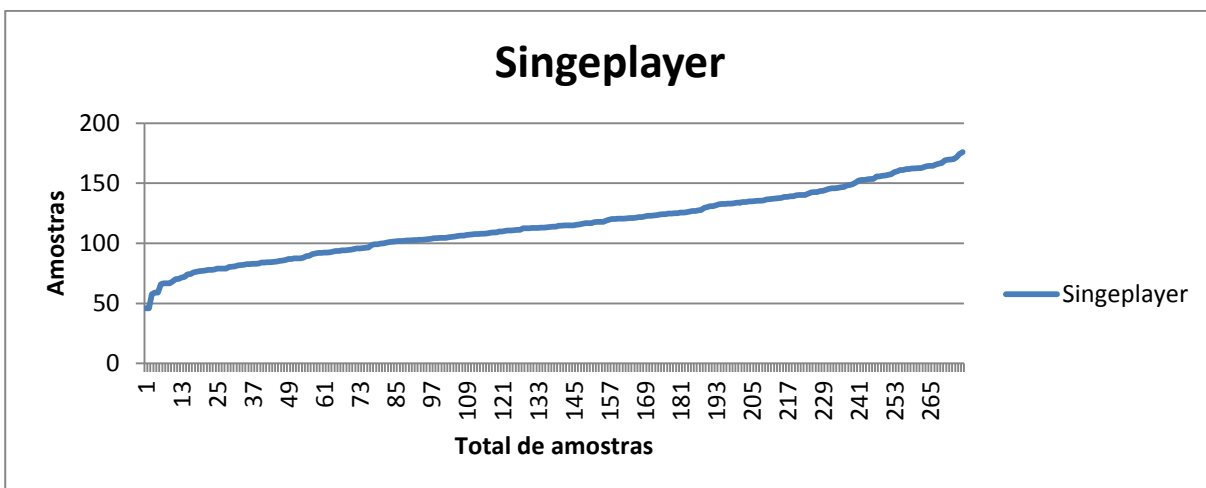


Figura 63 - Amostras por ângulo obtido *singleplayer* para cotovelo esquerdo

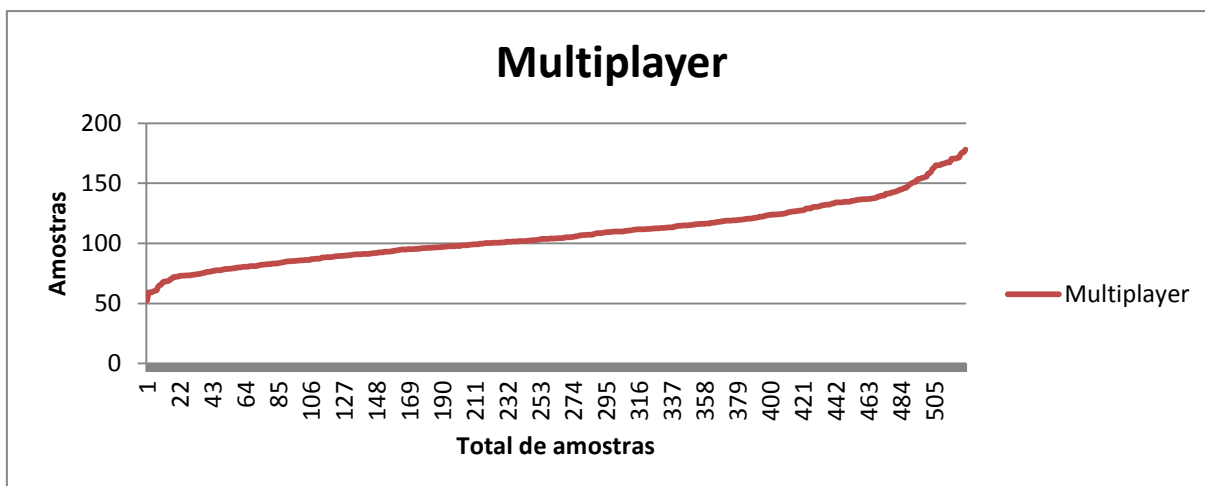


Figura 64 - Amostras por ângulo obtido *multiplayer* para cotovelo esquerdo

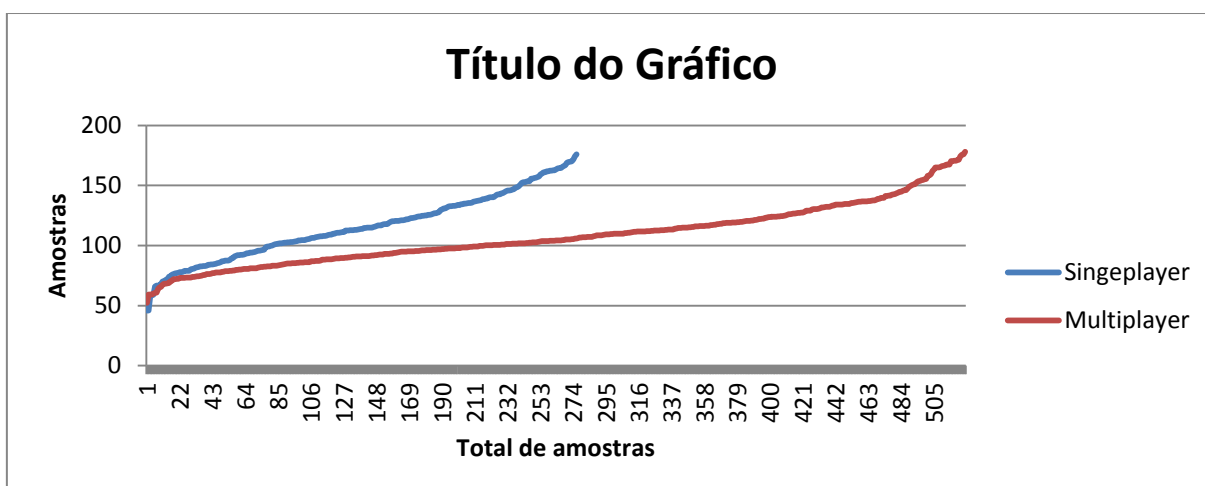


Figura 65 - Amostras por ângulo obtido totais para cotovelo esquerdo

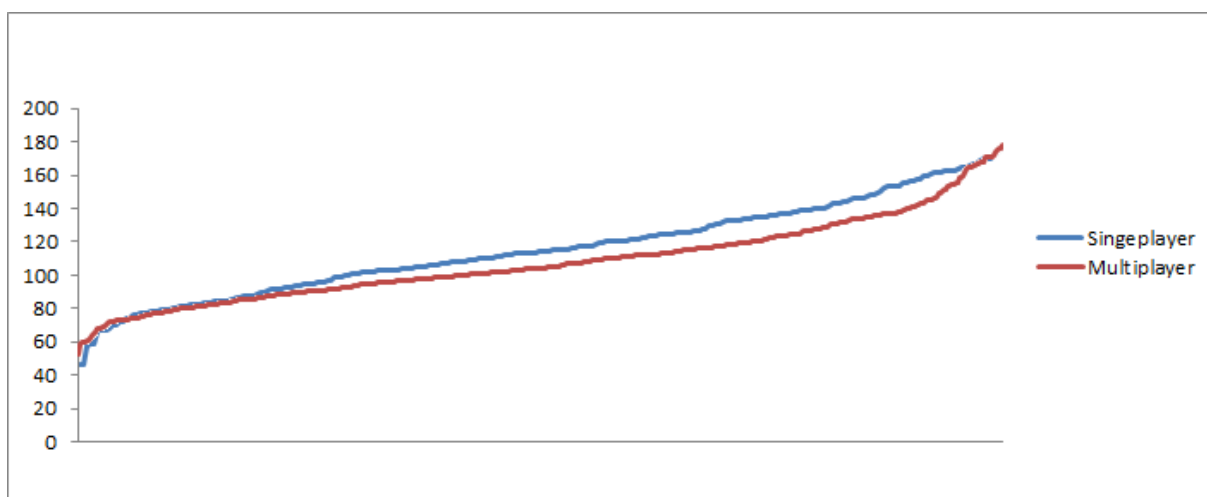


Figura 66 - Amostras por ângulo obtido totais para cotovelo esquerdo sobrepostas

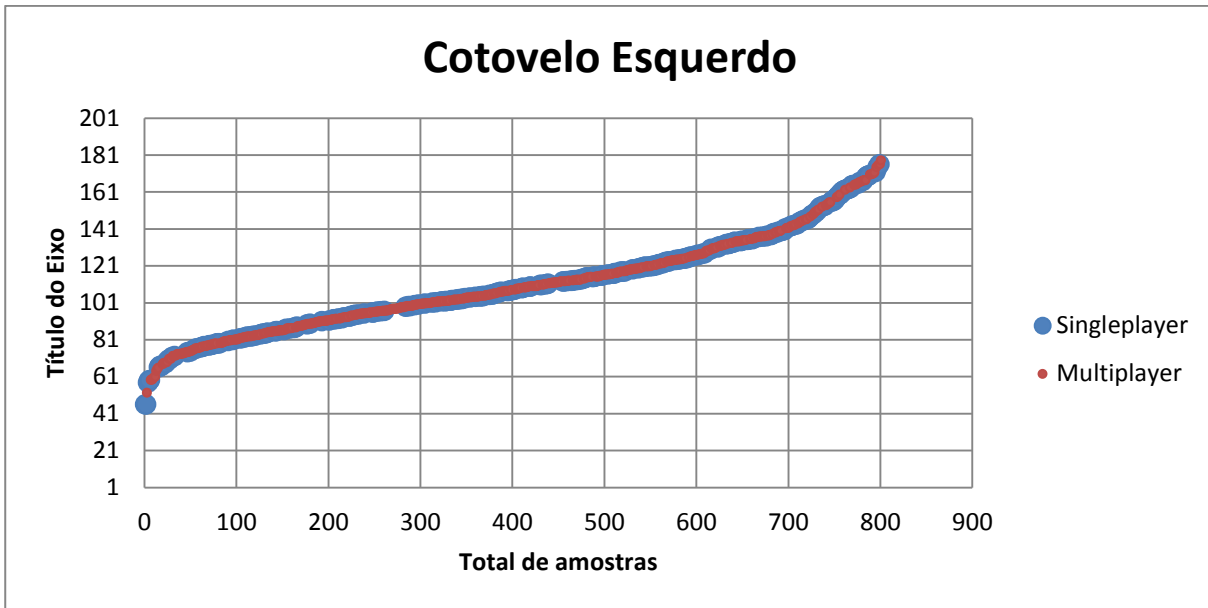


Figura 67 - Padrão total final para cotovelo esquerdo

5.6.3 Ombro Direito

As figuras 68, 69 e 70 apresentam os dados relativos a abdução e adução do Ombro Direito dos participantes. Os dados de abdução do cotovelo esquerdo também estão dentro do padrão, variando entre 7° e 123° ficando dentro da margem de 0 e 180°.

A figura 71 apresenta a sobreposição dos dados dos dois modos de jogo, indicando que os jogadores do modo *singleplayer* obtiveram ângulos de abdução menores em relação ao *multiplayer*. A figura 72 apresenta o total de ângulos obtidos formando o padrão entre todos os participantes do jogo.

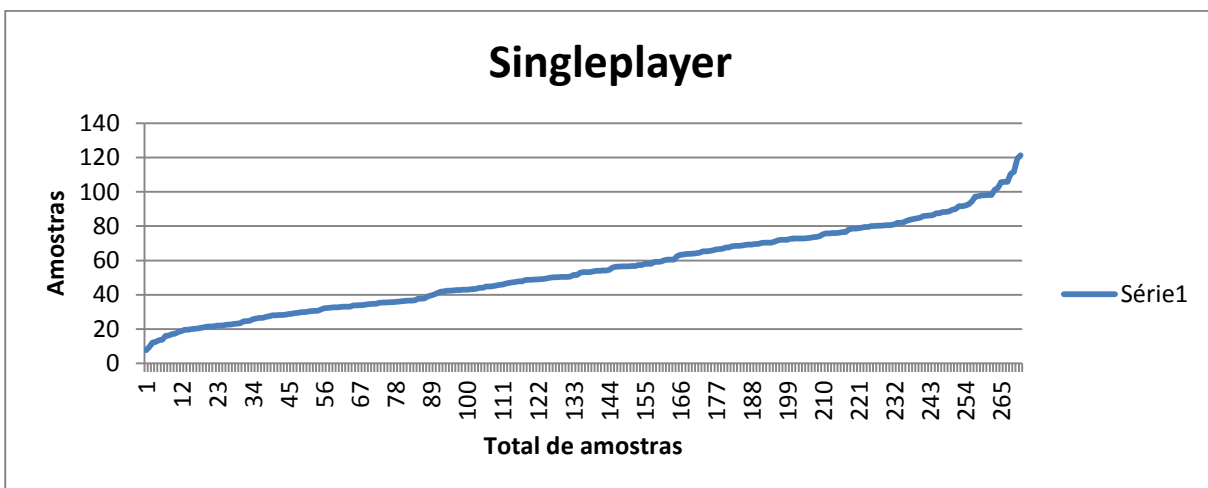


Figura 68 - Amostras por ângulo obtido *singleplayer* para ombro direito

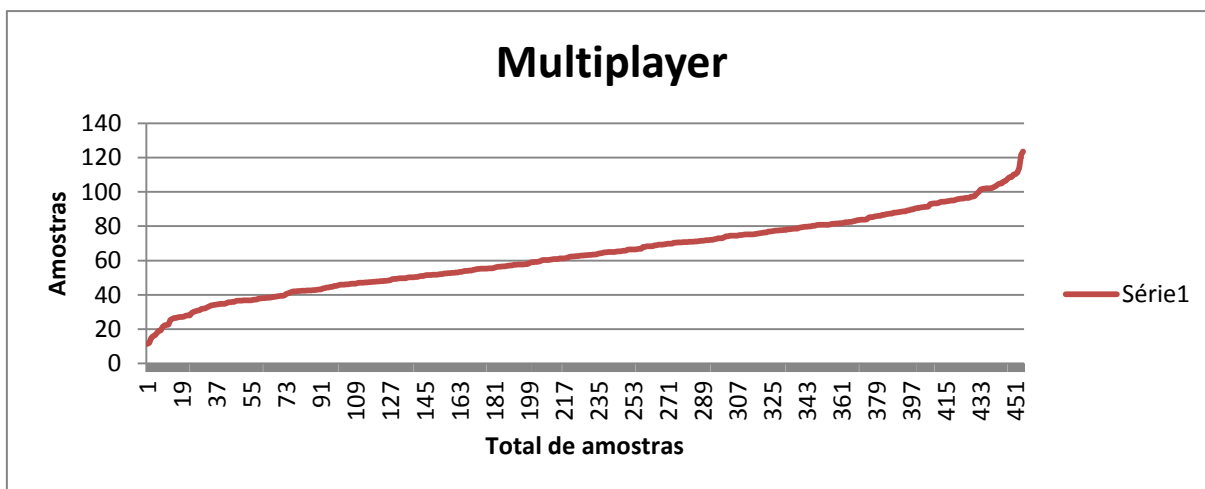


Figura 69 - Amostras por ângulo obtido *multiplayer* para ombro direito

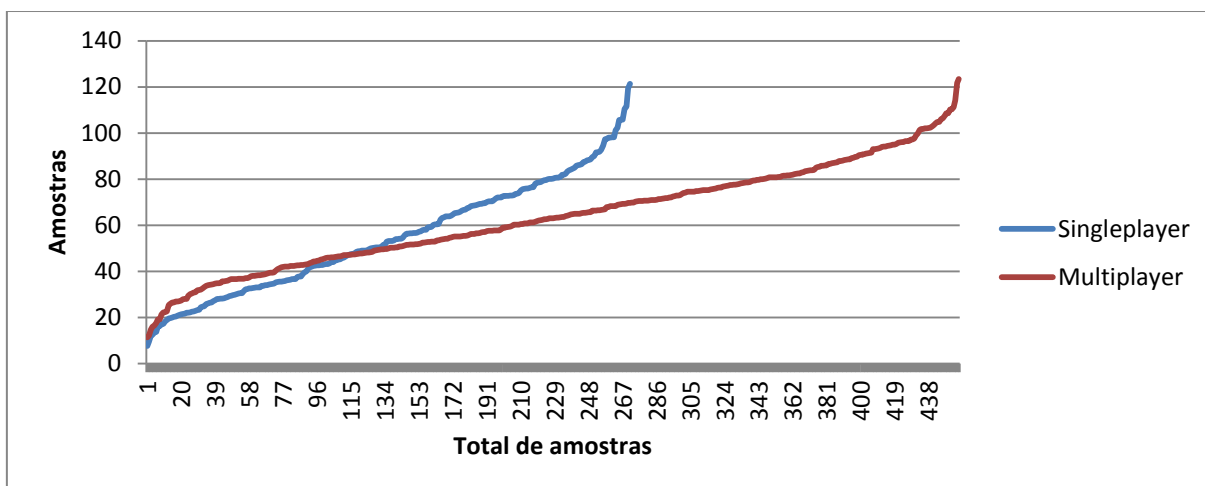


Figura 70 - Amostras por ângulo obtido totais para ombro direito

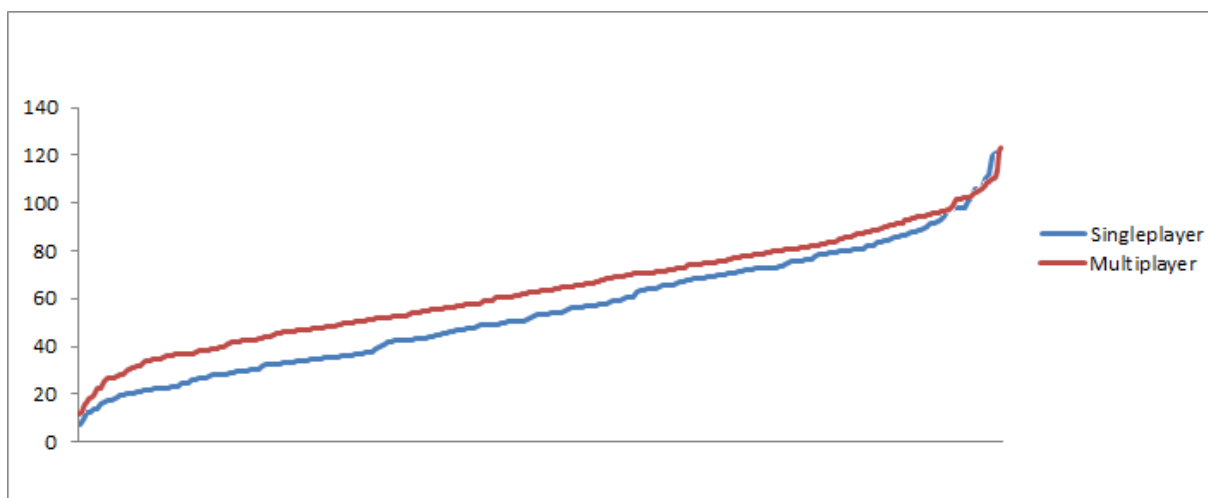


Figura 71 - Amostras por ângulo obtido totais para ombro direito sobrepostas

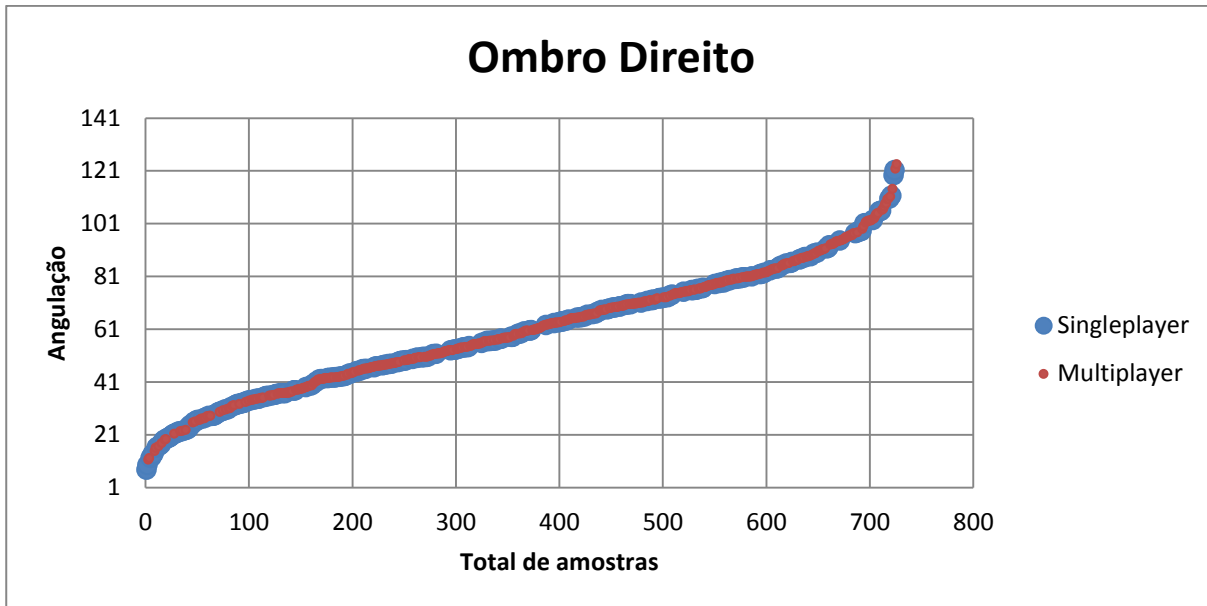


Figura 72 - Padrão total final para ombro direito

5.6.4 Ombro Esquerdo

As figuras 73, 74 e 75 apresentam os dados relativos a abdução e adução do Ombro Esquerdo dos participantes. Os dados de abdução do cotovelo esquerdo também estão dentro do padrão, variando entre 7° e 136° ficando dentro da margem de 0 e 180° .

A figura 76 apresenta a sobreposição dos dados dos dois modos de jogo, indicando que os jogadores do modo *singleplayer* obtiveram ângulos de abdução menores em relação ao *multiplayer*. A figura 77 apresenta o total de ângulos obtidos formando o padrão entre todos os participantes do jogo.

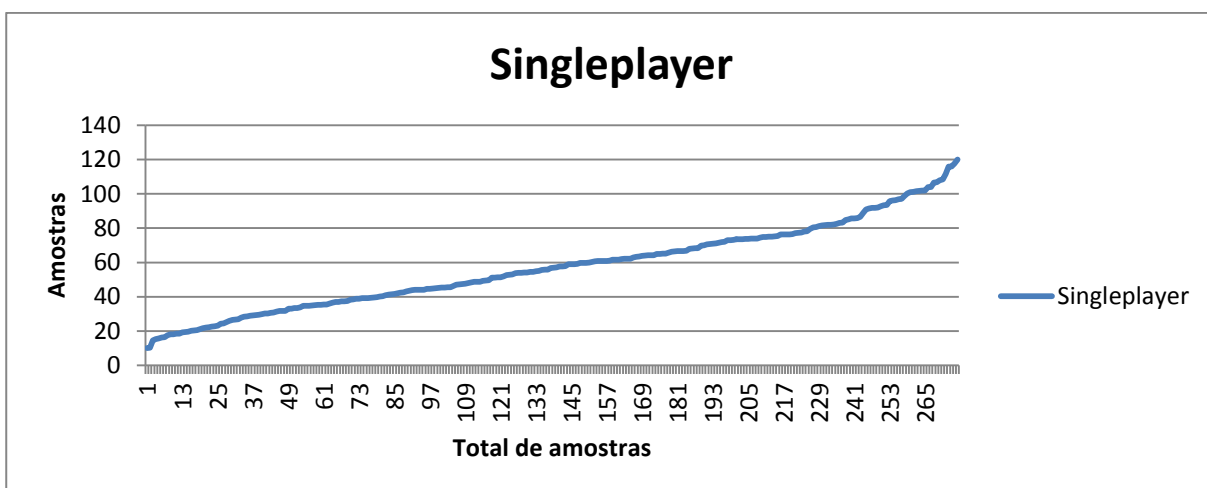


Figura 73 - Amostras por ângulo obtido *singleplayer* para ombro esquerdo

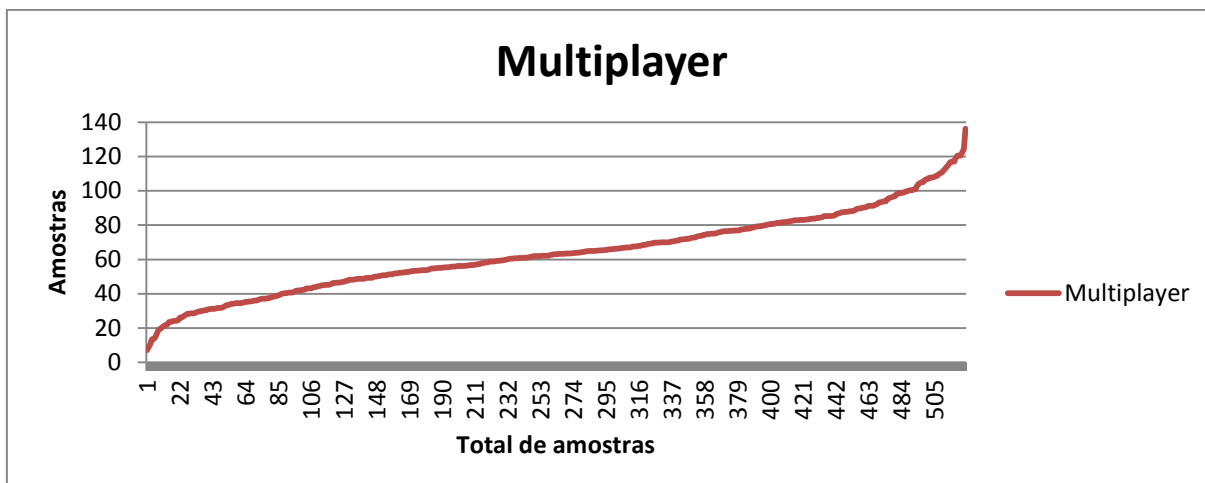


Figura 74 - Amostras por ângulo obtido *multiplayer* para ombro esquerdo

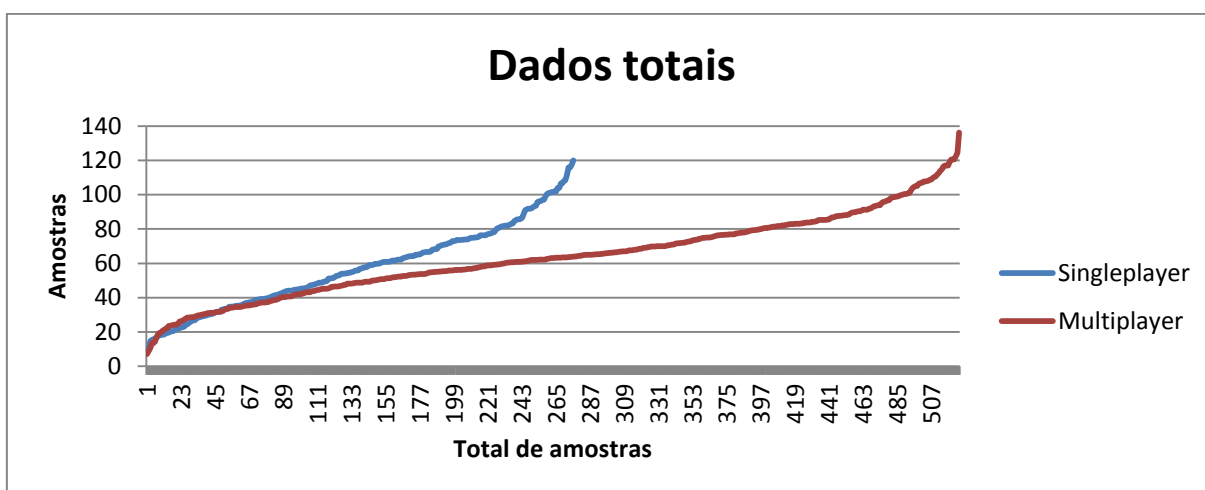


Figura 75 - Amostras por ângulo obtido totais para ombro esquerdo

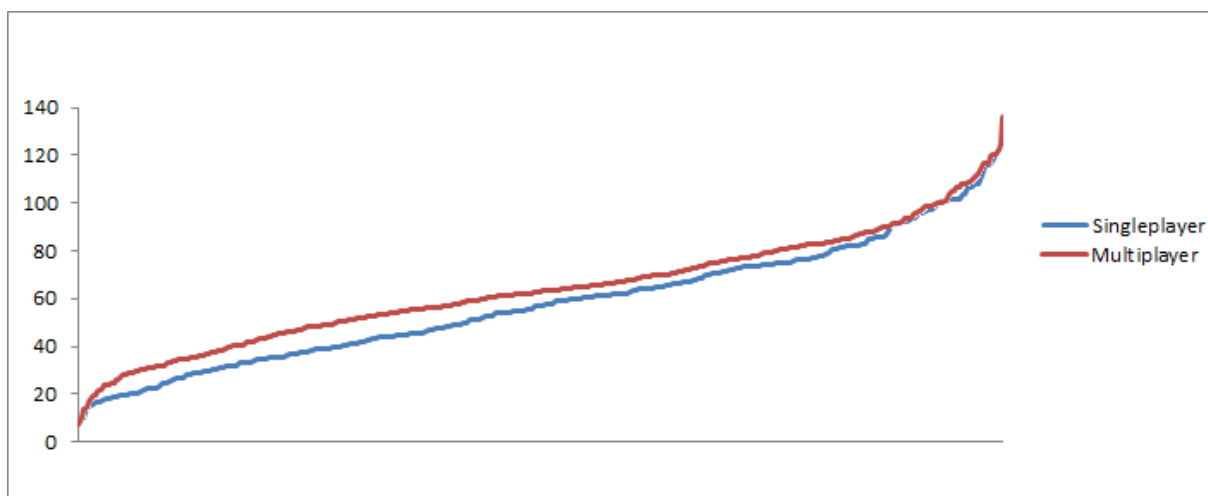


Figura 76 - Amostras por ângulo obtido totais para ombro esquerdo sobrepostos

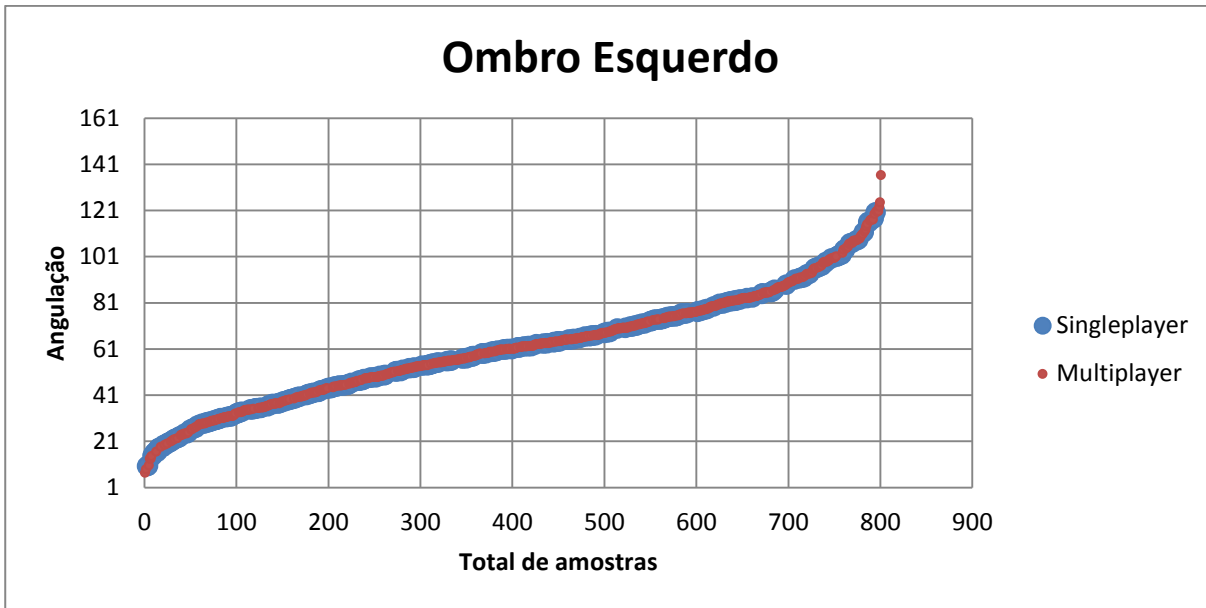


Figura 77 - Padrão total final para ombro esquerdo

5.6.5 Inclinação Horizontal

A figura 78, 79 e 80 apresentam os dados relativos a inclinação horizontal do tronco dos participantes. Os dados de inclinação horizontal variam entre 0° e 7.5°, podendo ser para ambos os lados.

A figura 81 apresenta a sobreposição dos dados dos dois modos de jogo, indicando que os dois modos de jogo apresentam a mesma variação. Porém variando mais no caso *singleplayer* para os jogadores que tendiam a se inclinar mais. A figura 82 apresenta o total de ângulos obtidos formando o padrão entre todos os participantes do jogo.

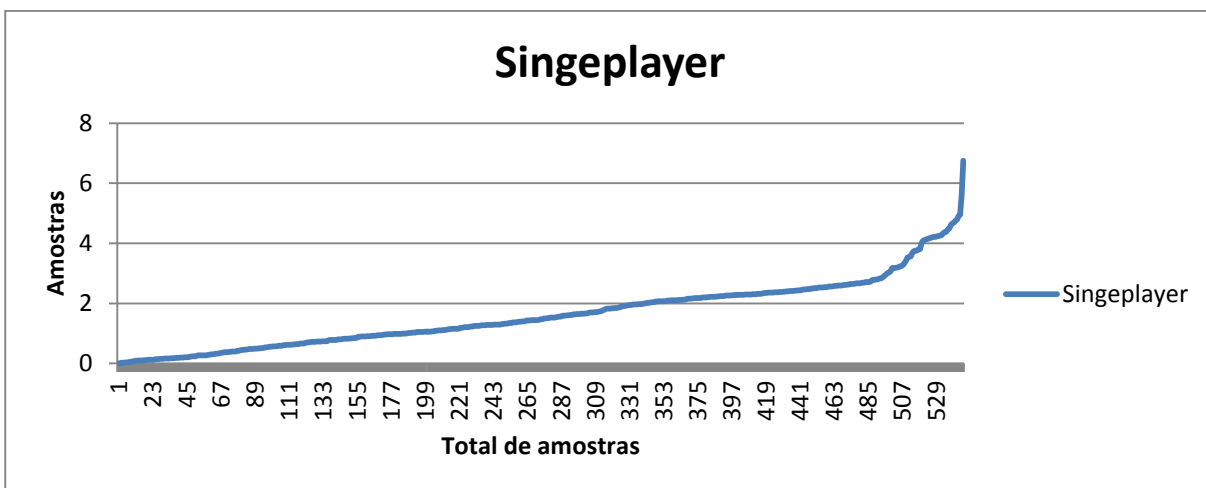


Figura 78 - Amostras por ângulo obtido *singleplayer* para Inclinação Horizontal

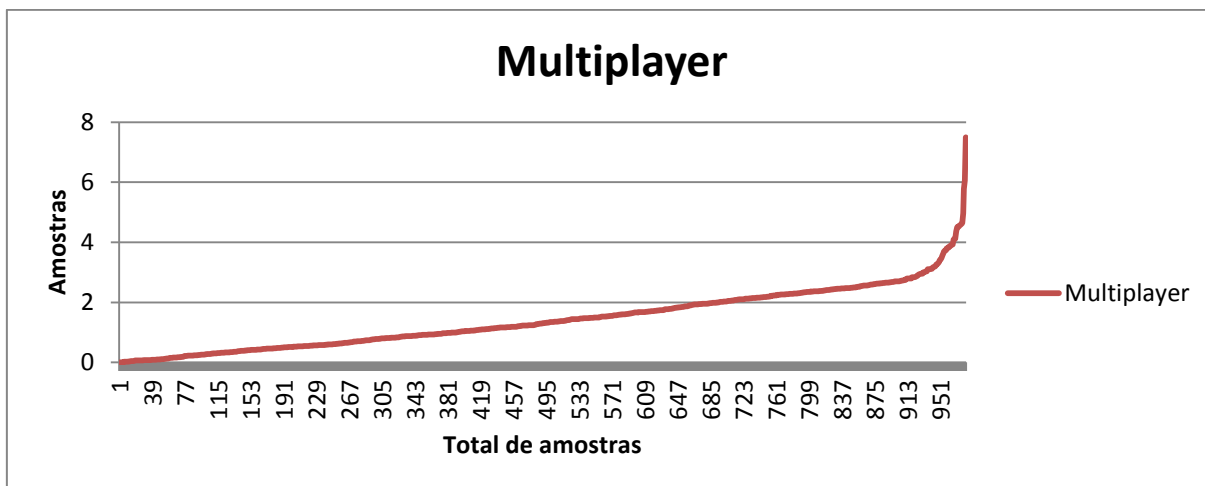


Figura 79 - Amostras por ângulo obtido *multiplayer* para Inclinação Horizontal

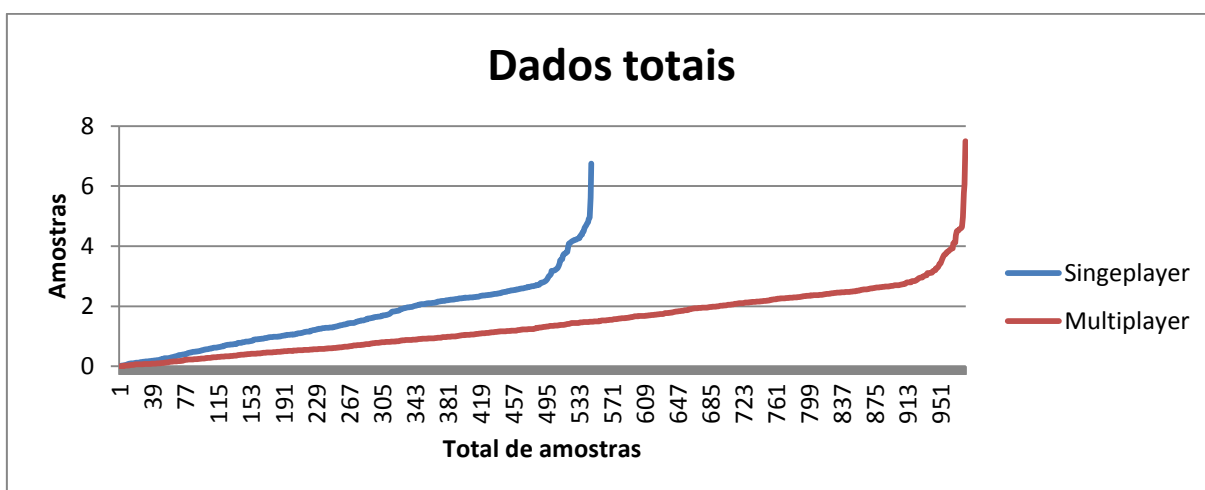


Figura 80 - - Amostras por ângulo obtido totais para Inclinação Horizontal

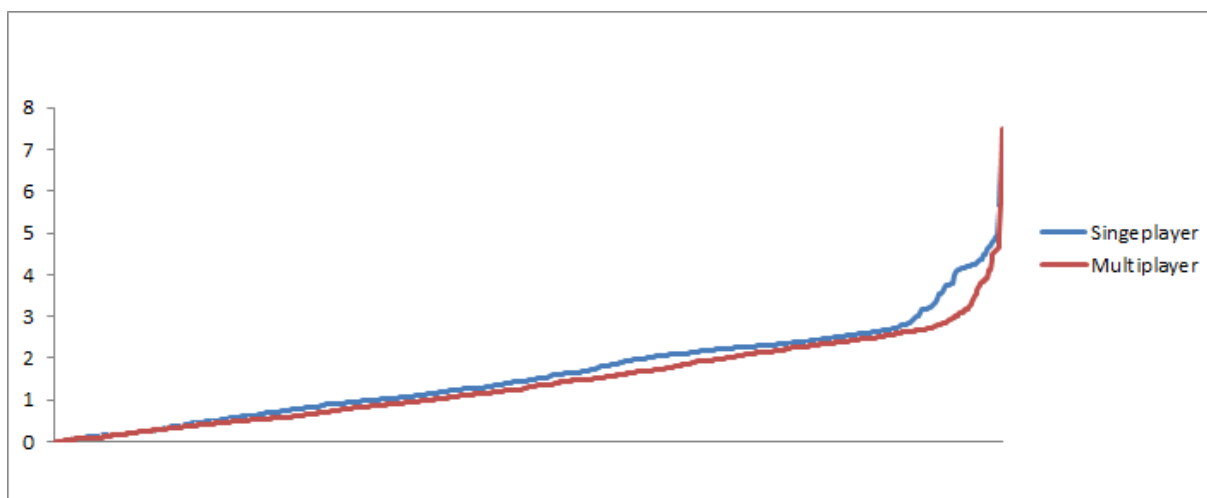


Figura 81 - Amostras por ângulo obtido totais para Inclinação Horizontal sobrepostos

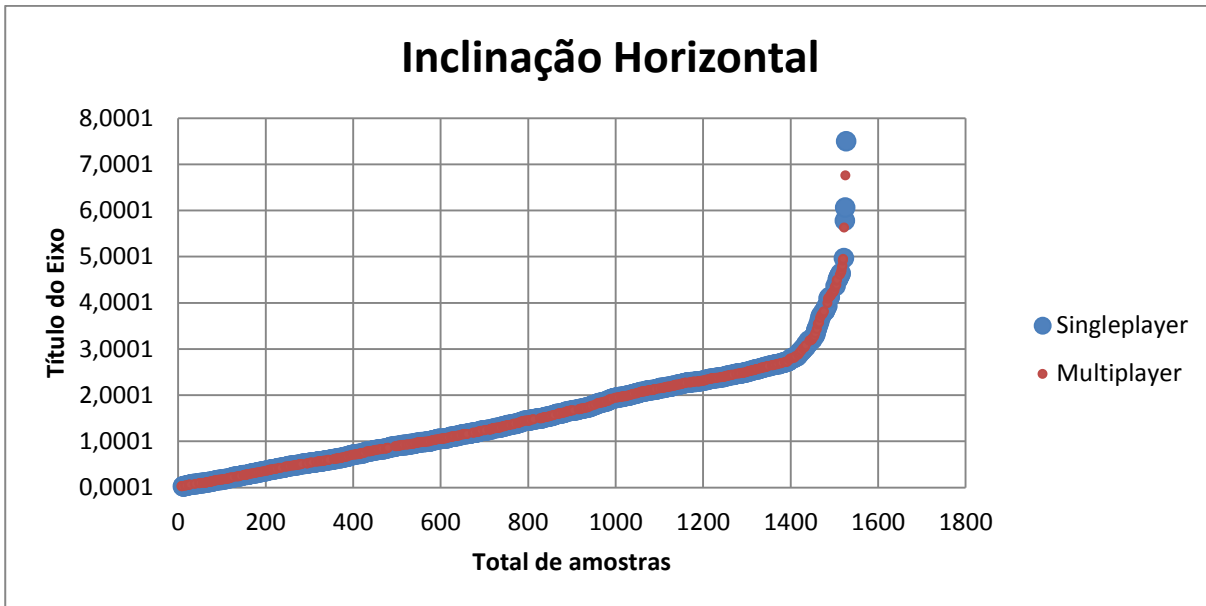


Figura 82 - Padrão total final para Inclinação Horizontal

5.6.6 Inclinação Vertical

A figura 83, 84 e 85 apresentam os dados relativos a inclinação vertical do tronco dos participantes. Os dados de inclinação vertical variam entre 0° e 7.5°, podendo ser para ambos os lados.

A figura 86 apresenta a sobreposição dos dados entre os dois modos de jogo, indicando que os dois modos de jogo apresentam praticamente a mesma variação. Também neste caso variando mais no modo *singleplayer* para os jogadores que tendiam a se inclinar mais. A figura 87 apresenta o total de ângulos obtidos formando o padrão entre todos os participantes do jogo.

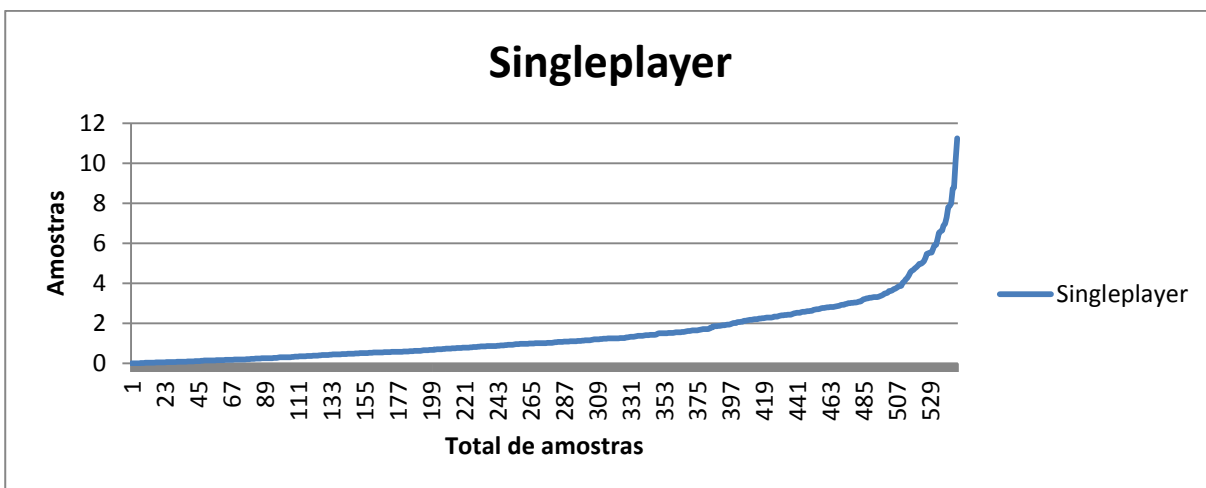


Figura 83 - Amostras por ângulo obtido *singleplayer* para Inclinação vertical

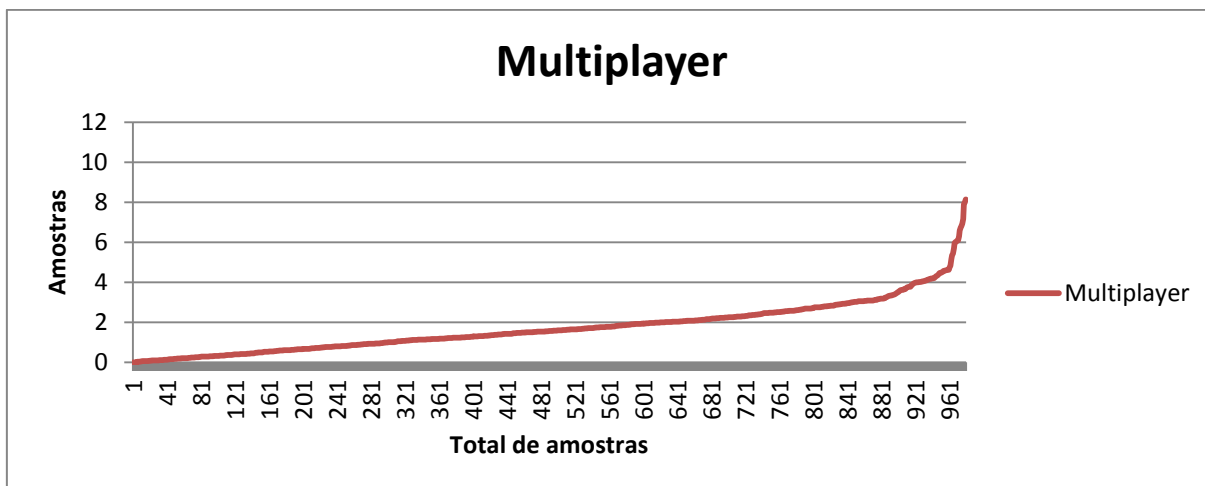


Figura 84 - Amostras por ângulo obtido *multiplayer* para Inclinação vertical

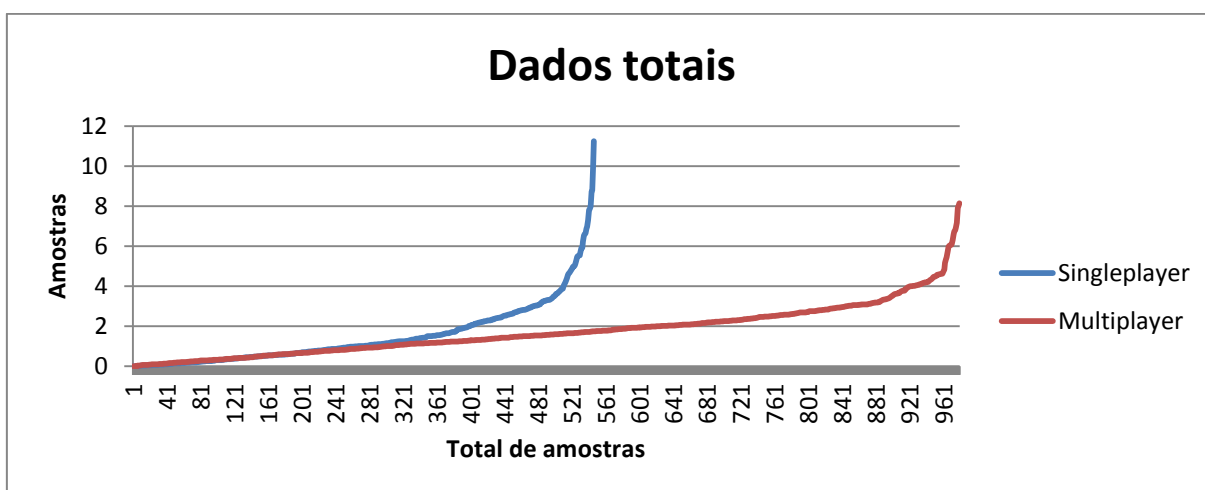


Figura 85 - Amostras por ângulo obtido totais para Inclinação vertical

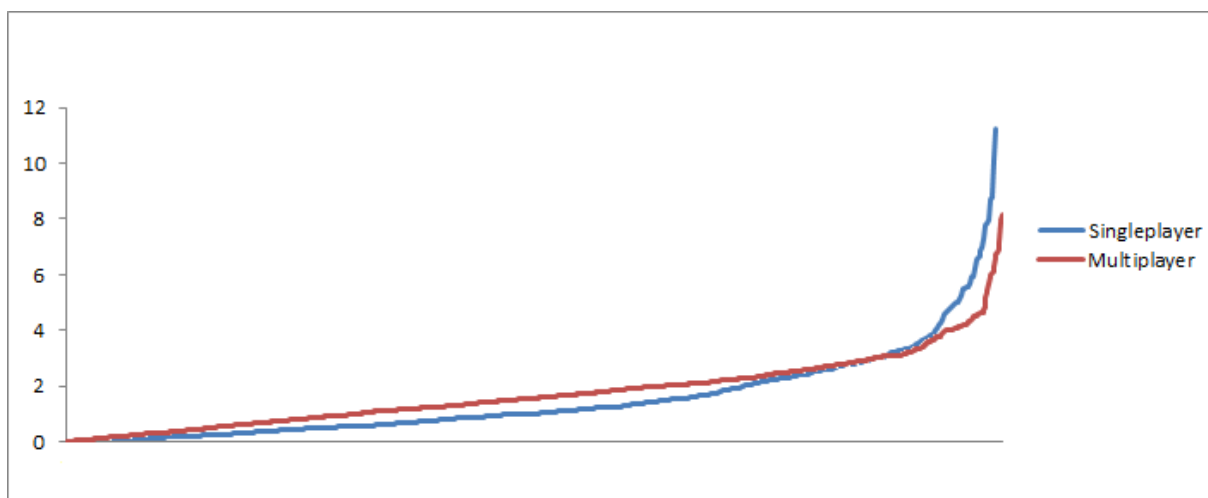


Figura 86 - Amostras por ângulo obtido totais para Inclinação vertical sobrepostas

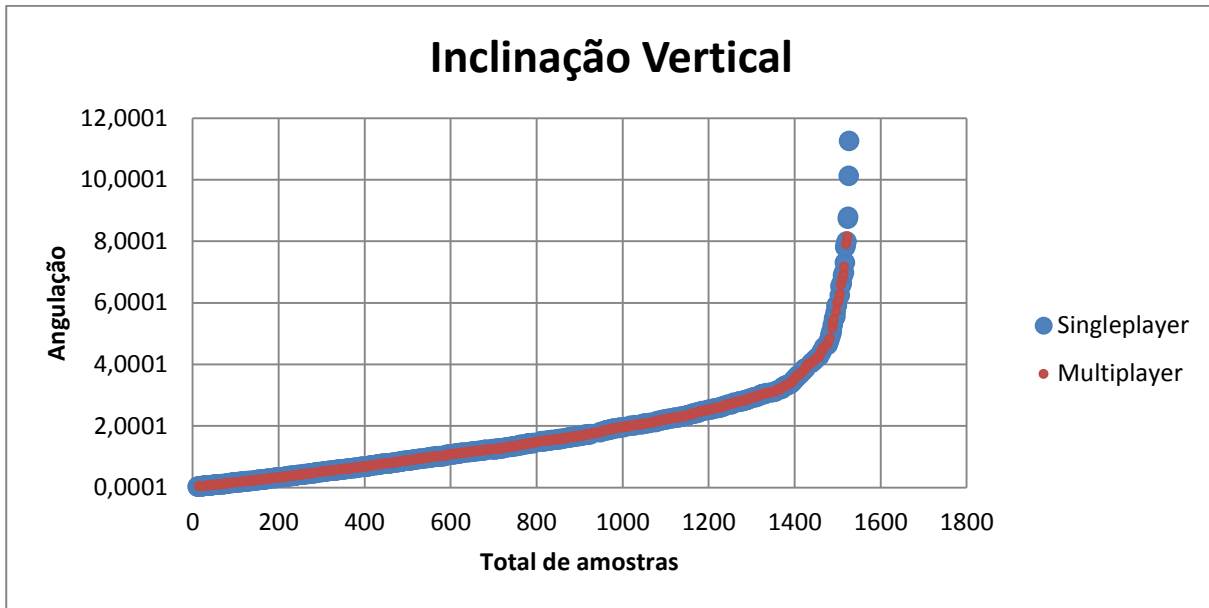


Figura 87 - Padrão total final para Inclinação vertical

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou o processo de desenvolvimento de um sistema com jogos para o auxílio no tratamento de pacientes que apresentam deficiência na mobilidade motora, mais precisamente o tratamento de membros superiores de pacientes hemiplégicos. Através de uma revisão detalhada sobre a hemiplegia e seu tratamento, obtiveram-se os requisitos necessários para a criação de um *exergame* completo para auxiliar na reabilitação.

Utilizando-se da ferramenta para criação de jogos *Unity* e das tecnologias de rastreamento de movimentos disponível pelo dispositivo *Kinect*, foi desenvolvido um sistema de jogos completo com banco de dados e dois modos de jogo, baseados em uma temática realista para coleta de frutas em um pomar. A partir da temática desenvolvida para os jogos, escolheram-se os modelos e as fases foram criadas com a introdução de menus e telas de exibição para verificação e controle de angulações goniométricas durante a partida, para auxílio do fisioterapeuta no controle dos movimentos de pacientes.

Os testes realizados pelo questionário GEQ de avaliação de usabilidade e jogabilidade através da experiência demonstraram pontuações altas, para todas as dimensões de efeito positivo e pontuações baixas para os de efeito negativo. Quando analisado separadamente em dimensões, os modos de jogo apresentaram poucas diferenças que puderam ser melhor avaliadas quando comparando-as através do instrumento de medida de confiabilidade.

Os testes avaliados pelos instrumentos de funcionalidade CUE e RPE apresentaram os resultados esperados. O teste CUE não apresentou diferenças significativamente grandes entre os dois modos de jogo e as respostas obtidas representam que as funções por ele desempenhadas estão de acordo com os testes funcionais da fisioterapia. O teste RPE apresentou uma diferença significativa mostrando que o modo *multiplayer* pode levar o jogador ao cansaço mais rapidamente em função do maior esforço que deve ser feito para ganhar-se a partida.

Ao longo deste trabalho, foram realizadas quatro publicações, listadas a seguir:

1. D'ORNELLAS; CARGNIN; SILVA; MIZDAL; PERONI. **Game-Based Physical Therapy and Rehabilitation Through Natural User Interfaces: Enhancing Cognitive and Physical Capabilities in the Long-Term care**. XII simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames 2013), SBC - Proceedings of the SBGames 2013, ISSN: 2179-2259

2. D'ORNELLAS; CARGNIN; PRADO. **SBGAMES 2014 - A thoroughly approach to upper limb rehabilitation using serious games for intensive group physical therapy or individual biofeedback training**, XIII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames 2014), SBC - Proceedings of the SBGames 2014 , ISSN: 2179-2259;
3. CARGNIN; D'ORNELLAS; PRADO. **A Serious Game for Upper Limb Stroke Rehabilitation Using Biofeedback and Mirror-Neurons Based Training**, MedInfo 2015, São Paulo, Brazil (A ser publicado);
4. D'ORNELLAS; CARGNIN; PRADO. **Evaluating the Impact of Player Experience in the Design of a Serious Game for Upper Extremity Stroke Rehabilitation**, MedInfo 2015, São Paulo, Brazil(A ser publicado);

6.1 Trabalhos Futuros

Algumas mecânicas de jogo podem ser desenvolvidas neste trabalho, porém o nível de complexidade dos testes e o total de resultados poderiam tornar o trabalho muito longo e inviável.

Mecânicas como som e avisos visuais não foram implementadas neste trabalho. Estes mecanismos podem ser adicionados para avisar os pacientes de possíveis erros em seus movimentos para que estes através deste feedback corrigissem a si mesmos. Porém como neste jogo pretendíamos coletar dados de pessoas saudáveis para formar um padrão ideal, tais mecanismos foram desnecessários no momento, podendo ser adicionado posteriormente.

Uma funcionalidade que poderia ser adicionada seria a de armazenar os dados das frutas que não foram alcançadas e através de uma cinemática inversa das posições, calcular as angulações que seriam necessárias para alcançá-las. Assim o fisioterapeuta teria um melhor feedback sobre o que o paciente não consegue fazer e onde tem mais dificuldades.

Ainda poderia ser realizada uma análise de bioestatística mais completa com os dados coletados utilizando-se a idade e sexo dos participantes que foram coletados durante as seções de testes, separando os padrões para homens e mulheres e de acordo com a idade.

Além dos dados em tempo real visualizados pelo fisioterapeuta, uma interface web poderia ser desenvolvida para a análise dos dados do banco de dados. O banco poderia ser armazenado em um computador servidor e acessado pelo jogo via internet.

REFERÊNCIAS

- ALAMRI, A.; HASSAN, M. M.; HOSSAIN, M. A.; AL-QURISHI, M.; ALDUKHAVVIL, Y.; & SHAMIN HOSSAIN, M. **Evaluating the impact of a cloud-based serious game on obese people.** *Computers in Human Behavior*, 30, 468-475. doi:10.1016/j.chb.2013.06.021, 2014.
- ALVES, R. C. A.; SANTOS, F. C. L. DOS; OLIVEIRA, B. T. DE; MARGI, C. B. **Sistema de Monitoramento de Amplitude de Movimento Baseado em Redes de Sensores sem Fio Aplicado à Fisioterapia,** VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, 504–515.2, 2012.
- BASTIEN, J. M. C. **Usability testing: a review of some methodological and technical aspects of the method.** *International Journal of Medical Informatics*, 79(4), e18-e23. <http://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2008.12.004>, 2010.
- BOIAN, R. F.; LEE, C. S.; DEUTSCH, J. E.; BURDEA, G. C.; LEWIS, J. A. **Virtual Reality-based System for Ankle Rehabilitation Post Stroke** Disponível em: http://yu.ac.kr/~cvpr/paper/2002/vrmhr_anklerehab.pdf, 2002.
- BONNECHÈRE, B.; JANSEN, B.; SALVIA, P.; BOUZAHOUENE, H.; OMELINA, L.; MOISEEV, F.; VAN SINT JAN, S. (2014). **Validity and reliability of the Kinect within functional assessment activities: comparison with standard stereophotogrammetry.** *Gait & Posture*, 39, 593-8, 2014.
- BORG, G. A. **Psychophysical bases of perceived exertion.** *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):377-81, 1982.
- BRITTO, T. C. P.; PENTEADO, B. E.; MARTINS, L. C. G.; & ANACLETO, J. C. **Técnicas de Prototipação para Smartphones no Apoio à Avaliação de Interfaces com o Usuário.** *Proceedings of the Companion Proceedings of the 10th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems and the 5th Latin American Conference on Human-Computer Interaction*, 39-42, 2011.

BROOKE, J. SUS: A “**quick and dirty**” usability scale. In: Jordan, P.W., Thomas, B., Weerdmeester, B.A., McClelland, I.L, dustrypp, 189-194. Retrieved from <http://hell.meiert.org/core/pdf/sus.pdf>, 1996.

BUCCINO, G.; SOLODKIN, A.; SMALL, S.L. **Functions of the Mirror Neuron System: Implications for Neurorehabilitation**, Cognitive and Behavioral Neurology, Vol. 19(1): 55-63, 2006.

CAILLOIS, R. **Man, Play and Games**, University of Illinois Press ISBN: 978-0252070334, 2001.

CAMERON, H. A.; HAZEL, T. G.; MCKAY, R. D. G. **Regulation of neurogenesis by growth factors and neurotransmitters**, Journal of neurobiology, Vol. 36(2): 287-306, 1998.

CHAVES, M. L. F. **Acidente vascular encefálico: conceituação e fatores de risco**. Hipertensão. RS, 2000.

CHENG, K. **The Fight of Challenge vs. usability in Games**. Ok-Cancel Disponível em: http://www.ok-cancel.com/archives/post/2004/07/the_fight_of_challenge_vs_usability_in_games.html, 2004.

COSTA, A. M. DA; DUARTE, E. **Atividade física e a relação com a qualidade de vida , de pessoas com seqüelas de acidente vascular cerebral isquêmico (AVCI)**. Revista Brasileira de Ciência e Movimento, 10(1), 47–54, 2002.

CRAWFORD, C. **Chris Crawford on Game Design**, New Riders; 1 edition, ISBN: 007-6092021681, 2003.

CRAWFORD, S. **How Microsoft Kinect Works**. Disponível em: < <http://electronics.howstuffworks.com/microsoft-kinect2.htm>> Acesso em 25 de novembro de 2014.

DEUTSCH, J.E.; BORBELY, M.; FILLER, J.; HUHN, K.; & GUARRERA-BOWLBY, P.
Use of a low-cost, commercially available gaming console (Wii) for rehabilitation of an adolescent with cerebral palsy. *Physical Therapy*, 88(10), 1196-1207.
<http://doi.org/10.2522/ptj.20080062>, 2008.

ECMA. **C# Language Specification.** Disponível em: < <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/Ecma-334.pdf>> 4th Edition / June 2006.

ERIKSSON, P.S.; PERFILIEVA, E.; BJÖRK-ERIKSSON, T.; ALBORN, A.; NORDBORG, C. PETERSON, D.A.; GAGE, F.H. **Neurogenesis in the adult human hippocampus** *Nature Medicine* 4, 1313 - 1317, 1998.

EXPLORABLE. (May 7, 2010) **Cronbach's Alpha.** Disponível em: < <https://explorable.com/cronbachs-alpha/>> Acesso em: 30 Jan. 2015.

FEDEROFF, M. **Heuristics and Usability Guidelines for the Creation and Evaluation of Fun in Video Games.** Tese de Mestrado, Indiana University. Disponível em: <http://melissafederoff.com/thesis.html>, 2002.

GALNA, B.; BARRY, G.; JACKSON, D.; MHIRIPIRI, D.; OLIVIER, P.; & ROCHESTER, L. (2014). **Accuracy of the Microsoft Kinect sensor for measuring movement in people with Parkinson's disease.** *Gait & Posture*, 39(4), 1062-1068, 2014.

GAMASUTRA, **The Anatomy of a Design Document, Part 1: Documentation Guidelines for the Game Concept and Proposal.** Disponível em: < http://www.gamasutra.com/view/feature/131791/the_anatomy_of_a_design_document_.php?page=3/> , 1999.

GILMORE, P.E.; SPAULDING, S.J.; **Motor Learning and the Use of Videotape Feedback After Stroke,** *Topics in Stroke Rehabilitation*, Vol. 14(5): 28-36, 2007.

GOMES, B.M.; NARDONI.G.C.G; LOPES.P.G; DE GODOY.E. **O efeito da técnica de reeducação postural global em um paciente com hemiparesia após acidente vascular encefálico.** REV. ACTA FISIATRIA. SP, 2006.

HORA, H. DA; MONTEIRO, G.; & ARICA, J. **Confiabilidade em questionários para qualidade: um estudo com o coeficiente alfa de Cronbach.** Produto & Produção, 11(1973), 85-103, 2010

JOÃO, S.M.A. **Avaliação Fisioterapêutica do Ombro.** Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional-FMUSP, 2011. Disponível em: <<http://www.fm.usp.br/fofito/fisio/pessoal/isabel/biomecanicaonline/articulacoes/ombro/PDF/avalombro.pdf>>. Acesso em 02 de maio de 2014.

JUNG, J.; KIM, N. **Effects of Inspiratory Muscle Training on Diaphragm Thickness , Pulmonary Function , and Chest Expansion in Chronic Stroke Patients,** Journal of the Korean Society of Physical Medicine, 8(1), 59-69. 2013.

JUNIOR, E. B.; ELIAS, A.; MELIM, R.; RIBEIRO, D. S.; MUCCIACCIA, S. S.; FRIZERA, A.; BASTOS, T. F. **Avaliação da Amplitude de Movimento da Coluna Cervical Utilizando Sensores Inerciais: Estudo Piloto,** Revista Brasileira de Reabilitação e Atividade Física, Vitória, v.2 n.1, p. 45-51, ISSN 2238-5428, 2013.

LEITE, H.R.; NUNES, A.P.N.; CORREA, C.L. **Epidemiological profile of stroke survivors registered at the Health Family Strategy of Diamantina,** MG Rev. Fisioterapia e Pesquisa, SP, 2009.

KIERAS, D. **User Interface Design for Games.** University of Michigan Disponível em: <http://www.eecs.umich.edu/~soar/Classes/494/talks/User-interfaces.pdf>, 2006

KJELDSKOV, J.; STAGE, J. **New techniques for usability evaluation of mobile systems.** International Journal of Human-Computer Studies, 60(5-6), 599-620. <http://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2003.11.001>, 2004.

LAITINEN, S. **Better Games through Usability Evaluation and Testing**, Gamasutra. Disponível em: http://www.gamasutra.com/features/20050623/laitinen_01.shtml, 2005.

MARQUES, A.B.; LOPES, A.; CONTE, T. **Aplicação de métodos de avaliação da experiência do usuário na utilização de serious game em sala de aula**. VII Fórum de Educação em Engenharia de Software. 22-31, 2014.

MARQUES, A.P. **Manual de goniometria: revisada e ampliada**. 2ª ed. Barueri-SP: Manole, 2003.

MARINO R.J.; KERN, S.B.; LEIBY, B.; SCHMIDT-READ, M.; MULCAHEY, M.J. **Research article Reliability and validity of the capabilities of upper extremity test (CUE-T) in subjects with chronic spinal cord injury**. The Journal of Spinal Cord Medicine, 2014.

MARINO, R.J.; SHEA, J.A.; STINEMAN, M.G. **The Capabilities of Upper Extremity instrument: reliability and validity of a measure of functional limitation in tetraplegia**. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 79(12), 1512-1521. [http://doi.org/10.1016/S0003-9993\(98\)90412-9](http://doi.org/10.1016/S0003-9993(98)90412-9), 2009.

MAROCO, J.; GARCIA-MARQUES, T. **Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas**. Laboratório de Psicologia, 4(1), 65-90. 2006

MEHTA, S.; TEASELL, R.; FOLEY N. **Painful hemiplegic shoulder**. Australian Journal of Physiotherapy, 1–66., 2013.

MICROSOFT. **Microsoft Kinect for Windows**. Disponível em: <http://www.kinectforwindows.org> Acesso em: 15 de Setembro de 2011.

MINUTOLI, V.P.; DELFINO, M.; FREITAS, M.S.T.T.; LIMA, M.O.; TORTOZA, C.; DOS SANTOS, C.A. **Efeito do movimento passivo contínuo isocinético na hemiplegia espástica**. Rev.Acta Fisiatria. SP, 2007.

MYSQL. Disponível em: < <http://www.mysql.com/>> Acesso em: Junho de 2012.

NBR 9241-11. **Requisitos Ergonômicos para Trabalho de Escritórios com Computadores Parte 11 - Orientações sobre Usabilidade**. ABNT, 21, 2002.

OONAGH, O.M.; PERSSON, U.M.; CAULFIELD, B. **Biofeedback in rehabilitation**, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 10:60, 2013.

OPENKINECT. **OpenKinect project**. Disponível em: < http://openkinect.org/wiki/Main_Page> Acesso em: 10 de Maio de 2012.

PELLETIER, C.; KNEEBONE, R. **Playful Simulations Rather Than Serious Games: Medical Simulation as a Cultural Practice**. Games and Culture, 1-25. doi:10.1177/1555412014568449, 2015.

PENG, W.; HSIEH, G. **The influence of competition, cooperation, and player relationship in a motor performance centered computer game**, Computer in Human Behavior, 28: 2100-2106, 2012.

PIOVESANA, A.M.S.G. **Paralisia cerebral hemiparética: aspectos evolutivos, plasticidade cerebral e especialização hemisférica** [tese]. Campinas: Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas; 1999.

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. **Design de Interação: Além da Interação homem-computador**. Editora Bookman, São Paulo: 2005.

PRENTICE, W.E.; VOIGHT, M.L. **Técnicas em Reabilitação Musculoesquelética**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

- PROCCI, K.; CHAO, A.; BOHNSACK, J.; OLSEN, T.; BOWERS, C. **Usability in Serious Games: A Model for Small Development Teams**. *Computer Technology and Application*, 3, 315-329, 2012.
- RAHMAN, M. A.; QAMAR, A. M.; AHMED, M. A.; RAHMAN, M. A.; BASALAMAH S. **Multimedia interactive therapy environment for children having physical disabilities**. in Proceedings of the 3rd ACM conference on International conference on multimedia retrieval (ICMR '13). ACM, New York, NY, USA, 313-314, 2013.
- REGO, P.A.; MOREIRA, P.M.; REIS, L P. **Natural user interfaces in serious games for rehabilitation**. 6th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI 2011), 1-4., 2011.
- RIZZOLATTI, G.; CRAIGHERO, L. **The Mirror-Neuron System**, *Annual Review of Neuroscience*, Vol.27 : 169-192, 2004.
- SALEN, K.; ZIMMERMAN, E. **Rules of Play: Game Design Fundamentals**, The MIT Press, ISBN: 000-0262240459, 2003.
- SCHELL, J. **The Art of Game Design: A Book of Lenses**, Second Edition, ISBN: 9781466598645, 2014.
- SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**, 9ª Edição. Pearson Education, 2011.
- SONG, H.; KIM, J.; TENZEK, K.E.; LEE, K.M. **The effects of competition on intrinsic motivation in exergames and the conditional indirect effects of presence**, annual conference of the International Communication Association, Singapore, 2010.
- STAIANO, A.E.; CALVERT, S.L. **Exergames for Physical Education Courses: Physical, Social, and Cognitive Benefits**. *Child Development Perspectives*, 5(2), 93-98. doi:10.1111/j.1750-8606.2011.00162.x, 2011.
- SUS. **System Usability Scale** Disponível em: < <http://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html> > 2 Jan. 2015.

THOMPSON, D.; BARANOWSKI, T.; BUDAY, R.; BARANOWSKI, J.; THOMPSON, V.; JAGO, R. **Serious Video Games for Health How Behavioral Science Guided Simul Gaming**. *Simul Gaming*, 41(4), 587-606. doi:10.1177/1046878108328087. 2010.

THR, Microsoft Kinect for Xbox 360 Becomes Fastest Selling Electronic Device in History <http://www.hollywoodreporter.com/news/microsoft-s-kinect-xbox-360-165990>, Acesso em Nov 2014.

TÓRTORA, L.; FERRAZ, D. **Desenvolvimento De Jogo Eletrônico Para Reabilitação Utilizando Um Sensor De Som E Movimento (Kinect)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

UNITY3D. **Unity: Documentation**. Disponível em: <
<http://unity3d.com/support/documentation/>> Acesso em: 10 Dez. 2014.

VERMEEREN, A.P.O.S.; LAW, E.L.C.; ROTO, V.; OBRIST, M.; HOONHOUT, J.; MATTILA, K.V.V. **User Experience Evaluation Methods: Current State and Development Needs**. In Proc. NordiCHI, 521-530, 2010.

VITTI, S.R.; PRADO, C.S.; DOMENICO, E.B.L. DE; PISA, I.T.; ENFERMAGEM, E.P. DE; MEDICINA, E.P. DE. **Revisão de serious game na área de saúde**, XIII Congresso Brasileiro em Informática em Saúde - CBIS, 1-6. 2012.

VORDERER, P.; HARTMANN, T.; KLIMMT C. **Explaining the Enjoyment of Playing Video Games: The Role of Competition**, 2nd International Conference on Entertainment Computing, pp 1-9. Carnegie Melon University, Pittsburg, 2003.

WARD, J. **What is Game Engine?** Disponível em: <
http://www.gamecareerguide.com/features/529/what_is_a_game_.php> 15 Dez. 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A - GAME DESIGN DOCUMENT

GAME DESIGN DOCUMENT (GDD)

Agarre as Frutas
(Título do jogo)

Visão Geral do Jogo

Agarre as frutas é um jogo que consiste na movimentação natural de se apanhar frutas em um pomar. O jogo é visualizado em terceira pessoa e sugere que o jogador observe seus movimentos para melhorá-los ao longo da partida. A representação do ambiente segue um padrão realista. Já os personagens têm temática de anime japonês, mas com medidas físicas realistas para traduzir a movimentação do jogador.

Plataforma / Hardware Mínimo

O jogo foi feito para ser utilizado em um computador como plataforma principal. Este deve suportar a *Game Engine Unity* e seus executáveis em versão *standalone*. Ainda deve ser capaz de utilizar-se da tecnologia do sensor de movimentos *Kinect* da Microsoft. O computador deve possuir USB 2.0 para integração com o *Kinect*, placa gráfica com recursos do *DirectX 9.0 (Shader Model 2.0)*, CPU com suporte para o conjunto de instruções SSE2 e sistema operacional Windows XP+, Mac OS X 10.6+, Ubuntu 10.10+ ou SteamOS+;

Estilo Visual

O estilo visual do jogo segue o mesmo padrão tanto para o menu principal quanto para as fases principais do jogo. O estilo visual dos objetos segue um padrão realista, ou o mais perto possível da realidade para que o jogador simule enquanto joga a movimentação do personagem e sinta-se imerso na perspectiva do jogo. Os personagens também seguem um padrão realista para as medidas físicas dos personagens para que os mesmos se pareçam com pessoas reais, porém estes têm o diferencial de apresentar faces divertidas com o estilo de anime japonês, com olhos grandes e cores mais simples.

O estilo visual do menu principal do jogo segue o mesmo princípio para os personagens, porém substitui-se a temática do pomar por uma temática mais simples baseada em exercícios físicos para estipular o escopo dos jogos que o sistema engloba.

Algumas imagens obtidas através de pesquisas de jogos com *Kinect* e ambientes com a temática do jogo servem de conceito para a criação do jogo.



Jogo em terceira pessoa controlado por *Kinect* com menus laterais

(FONTE: *Kinect marketplace*)



(Fonte: *Kinect marketplace*)

Para o posicionamento dos personagens na cena escolheu-se um modelo de câmera fixa com personagens centrados e com visualização em terceira pessoa. Observando, portanto, pelas costas do personagem, a intenção é fazer com que o jogador sinta-se imerso no jogo porém possa ver quais movimentos está executando e se está executando-os corretamente.

Algumas imagens de pomares reais foram utilizadas para escolher os modelos que melhor se adequavam ao ambiente real do ambiente, bem como a movimentação executada na tarefa de apanhar frutas que é o tema principal do jogo.



Movimentos naturais ao apanhar frutas em um pomar

(Fonte: Disponível em: <http://www.fattocom.com.br/uploads/post/image/thumb/detail/pomar.jpg> Acesso em Jan, 2014)



Movimentos naturais ao apanhar frutas em um pomar

(Fonte: Disponível em: <http://extra.globo.com/incoming/8340319-904-503/w448/gugu-liberato.jpg> Acesso em Jan, 2014)



Frutas e objetos típicos da cena a ser construída

(Fonte: Disponível em:http://institutopomar.com.br/wp-content/uploads/2015/01/pomar_resultados_marketing_digital.jpg Acesso em Jan, 2014)

Começando o Jogo - Main Menu

Começando o jogo:

- O jogo é carregado a partir do executável gerado pela *Unity* em uma versão *standalone* do jogo com todos os recursos;
- A cena principal apresentada é o *main menu* que apresenta as opções para o jogador escolher;
- Após digitar seu nome o jogador pode escolher o modo e então a cena da fase escolhida é carregada;
- Se a opção de estatísticas for acessada a tela é minimizada e é carregada uma aba externa do navegador padrão do computador que carrega então as informações do banco de dados;
- Se a opção de sair for selecionada o jogo se fecha.

Começando o jogo - Primeira cena

- Após a cena do modo de jogo ser carregada, o jogador deve então definir as opções de dificuldade antes do início do jogo;

- Quando todas as opções estiverem definidas a partida começa e o jogador deve então colher o máximo possível de frutas antes que o tempo se acabe.

In-Game Displays & Menus

O jogo apresenta dois menus importantes. O primeiro na cena principal do main menu onde apresentam-se as opções pré-game, e o menu principal do jogo, onde se define as características da partida. Ainda é apresentado uma tela com a pontuação, tempo e nível de dificuldade atual do jogo.

Outra tela de controle disponível é a das angulações dos braços e cotovelos, além da inclinação do personagem principal, que ajudam a controlar a movimentação e posicionamento do personagem.

Interfaces do Usuário - Main Menu

O menu principal é apresentado na forma de um menu central com barras de seleção das opções apresentadas.

As opções são:

- Modo *Singleplayer*;
- Modo *Multiplayer*;
- Nome dos jogadores;
- Estatísticas;
- Sair do jogo.

Interfaces do Usuário - In-Game displays

As opções do menu do jogo são apresentadas em um display lateral de controle do jogo.

As opções de dificuldade são:

- Velocidade de criação de novas frutas;
- Tempo de duração da partida;
- Altura dos cestos de coleta das frutas coletadas;
- Distância dos cestos ao corpo do personagem;
- Tamanho da área de Spawn;
- Tipos de frutas.

Tela Final do jogo

Quando o jogo termina a tela de pontuação é apresentada. Também é mostrado um botão para encerrar a partida e levar o jogador novamente ao menu principal.

Multiplayer

O modo *multiplayer* é uma versão estendida do modo *singleplayer*. Tal como os jogos do estilo *arcade* onde a tela era dividida (*splitscreen*) o modo *multiplayer* coloca os personagens lado a lado na tela para que aja a competição entre eles.

Durante a escolha do jogo no menu principal deve-se inserir as informações dos dois jogadores, para posterior identificação dos dados salvos.

A dinâmica de jogo não se altera e os comandos são os mesmos para ambos os jogadores. O jogo difere-se do modo *singleplayer* por apresentar um ganhador entre os participantes e não contra o próprio resultado anterior.

Mecânicas e Gameplay

A mecânica do jogo concentra-se na simulação de apanhar frutas de um pomar. O jogador controla o personagem com movimentos iguais executados em frente ao dispositivo Kinect. O jogador deve então utilizar-se dos braços para apanhar as frutas da árvore e leva-las até o cesto onde então ganha um ponto por fruta coletada. Ao passar a região da mão por cima de uma fruta (encostando a mão do personagem), esta fruta passa então a acompanhar a mão até que o jogador leve a fruta até o cesto. Quando a fruta encostar no cesto, da mesma forma como se apanha a fruta, esta desaparece dentro do cesto e o jogador pode pegar a próxima que desejar. As frutas são criadas em locais semi-aleatórios, aparecendo dentro de uma região pré-definida, a *spawn zone*.

Controles

O controle dos personagens pelos jogadores ocorre através do sensor de movimentos do *Kinect*. O personagem principal é mapeado para movimentar-se de acordo com os jogadores e realizar os mesmos movimentos em tela. O movimento principal é com os braços

para apanhar as frutas e levá-las até o cesto. O movimento secundário é o de inclinação horizontal/vertical do tronco para ajuste do personagem.

Modos de jogo

Os modos de jogo disponíveis são o *singleplayer* e *multiplayer* competitivo que podem ser selecionados no *main menu*;

Ganhando uma partida

As partidas têm a duração definida pelo jogador, mas o padrão é de 60 segundos. No modo *singleplayer* o jogador pode comparar seu resultado com os resultados anteriores. Já no modo *multiplayer* pode-se jogar competitivamente com outro jogador e também analisar-se o resultado deste modo com os resultados anteriores através das estatísticas.

Pontuação

A pontuação é apresentada no display lateral durante a partida indicando o nome do jogado e o número de frutas coletadas.

Desafios importantes

O desafio do jogo é conseguir pegar todas as frutas que aparecerão de modo aleatório. A velocidade com que as frutas nascem na árvore pode variar de acordo com a predefinição antes de se começar a partida. A área de Spawn das frutas pode ser aumentada. As frutas nascem aleatoriamente nos locais indicados. Além disso, o tempo pode ser aumentado para que haja uma duração maior da partida e, portanto, tornando-a mais cansativa

Recursos

Modelos 3D foram utilizados como recursos do jogo. Todos os modelos 3D foram obtidos através de *websites* com repositórios de diferentes tipos de modelos. Os modelos deveriam encaixar-se na temática da cena do jogo além de possuir cores, texturas, iluminação e características parecidas para encaixarem-se na temática. Todos os modelos utilizados utilizaram os tipos básicos FBX e OBJ de extensão. Este padrão permite a fácil introdução no editor da *Unity* sem necessitar conversões.

Os objetos utilizados estão listados:

- Modelo de personagem Taichi e UnityChan;
- Modelo de gramado, pedras e montanhas;
- Modelos de frutas diversas;
- Barreiras de concreto, letras e símbolos para a criação dos menus de controle da fase;
- Modelos de cesto e coluna para construção do *dropoff*;
- O piso e árvore foram gerados através do gerador automático da *Unity*.

Personagens

Os personagens do jogo baseiam-se no modelo 3D chamado Taichi com características físicas de um jovem/adolescente. As roupas dos personagens são escolhidas de acordo com a fase. No menu principal um personagem extra faz parte da cena. Nesta, os personagens utilizam roupas de exercício ou um macacão. Já nas fases de jogo o personagem utiliza calça e camisa mais adequados a temática do pomar.

Ambiente

Os objetos importantes para a cena são o cesto em que as frutas são depositadas. Estes devem estar localizados logo ao lado do personagem principal a uma distância previamente calculada. Outro elemento importante é a árvore principal de onde o jogador colhe as frutas. Esta deve estar posicionada logo à frente do personagem, com uma profundidade reduzida. O gramado e as montanhas fazem parte do cenário para formar um ambiente com aparência rural.

APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Avaliação de usabilidade, jogabilidade e funcionalidade em jogos sérios para a reabilitação motora

Título do estudo: Desenvolvimento de Jogos Sérios para a Reabilitação Motora
Pesquisador(es) responsável(is): Marcos Cordeiro d'Ornellas e Ana Lúcia Cervi Prado
Instituição/Departamento: PPGI-UFSM e Serviço de Fisioterapia do HUSM
Telefone para contato: (55) 3220-6111 ou (55) 9991-9931
e-mail para contato: marcosdornellas@gmail.com
Local da coleta de dados: Serviço de Fisioterapia do HUSM

Prezado(a) Senhor(a):

Você está sendo convidado(a) a responder às perguntas deste questionário de forma totalmente voluntária. Antes de concordar em participar desta pesquisa e responder este questionário, é muito importante que você compreenda as informações e instruções contidas neste documento. Os pesquisadores deverão responder todas as suas dúvidas antes que você se decidir a participar. Você tem o direito de desistir de participar da pesquisa a qualquer momento, sem nenhuma penalidade e sem perder os benefícios aos quais tenha direito.

O objetivo deste estudo é avaliar a usabilidade, jogabilidade e funcionalidade de um jogo sério o qual foi desenvolvido especificamente para a reabilitação motora de indivíduos com hemiplegia e/ou hemiparesia. Este jogo pode ser usado com um jogador ou dois jogadores, tendo sido desenvolvido usando a plataforma Unity3D com a interface Kinect. O trabalho desenvolvido é parte integrante da dissertação do Acad. Diego João Carginin do Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI) da UFSM, o qual é orientado pelo Prof. Dr. Marcos Cordeiro d'Ornellas.

Os procedimentos utilizados durante a avaliação são reconhecidos pela comunidade científica internacional e considerados relevantes para o estudo em questão. A avaliação fará uso de:

1) GEQ (Game Experience Questionnaire), composto de 42 perguntas, dividida em 7 fatores/dimensões, seguindo a escala Likert.

<http://www.allaboutux.org/game-experience-questionnaire-geq>

2) BORG Scales of Perceived Exertion

<http://www.heartonline.org.au/SiteCollectionDocuments/Rating%20of%20perceived%20exertion%20-%20Borg%20scale.pdf>

3) CUE-Q (Capabilities of Upper Extremity Instrument)

http://www.cebp.nl/vault_public/filesystem/?ID=1269

Sua participação nesta pesquisa consistirá apenas no preenchimento do questionário, respondendo às perguntas formuladas que abordam a usabilidade, jogabilidade e funcionalidade do jogo sério em questão.

Esta pesquisa trará maior conhecimento sobre o tema abordado, sem benefício direto para você. (caso exista algum benefício direto ao sujeito da pesquisa, este deve ser especificado)

O preenchimento deste questionário não representará qualquer risco de ordem física ou psicológica para você. (caso o tema abordado possa causar algum tipo de constrangimento ao entrevistado, o mesmo deverá ser avisado desta possibilidade)

As informações fornecidas por você terão sua privacidade garantida pelos pesquisadores responsáveis. Os sujeitos da pesquisa não serão identificados em nenhum momento, mesmo quando os resultados desta pesquisa forem divulgados em qualquer forma.

Ciente e de acordo com o que foi anteriormente exposto, eu _____, estou de acordo em participar desta pesquisa, assinando este consentimento em duas vias, ficando com a posse de uma delas.

Santa Maria _____, de _____ de 2014.

Assinatura

Pesquisador responsável

Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato: Comitê de Ética em Pesquisa - UFSM - Cidade Universitária - Bairro Camobi, Av. Roraima, nº1000 - CEP: 97.105.900 Santa Maria - RS. Telefone: (55) 3220-9362 - Fax: (55)3220-8009 Email: comiteeticapesquisa@smail.ufsm.br. Web: www.ufsm.br/cep

ANEXOS

ANEXO A - FORMULÁRIOS APLICADOS DURANTE OS TESTES

Análise de jogabilidade e usabilidade

Game Experience Questionnaire (GEQ):

8	Eu senti que estava aprendendo	Competição
13	Eu achei que foi muito difícil	Competição
26	Eu me senti estimulado	Competição
29	Eu me senti desafiado	Competição
36	Eu tive que fazer muito esforço	Competição
37	Eu me senti pressionado pelo tempo	Competição
2	Eu me senti habilidoso	Competência
12	Eu me senti forte	Competência
17	Eu fui bem	Competência
19	Eu me senti vitorioso	Competência
23	Eu consegui atingir os objetivos rapidamente	Competência
42	Eu me senti competente	Competência
5	Eu me senti imerso	Fluidez
15	Eu esqueci do resto ao meu redor	Fluidez
28	Eu perdi a noção do tempo	Fluidez
31	Eu estava profundamente concentrado no jogo	Fluidez
34	Eu perdi a conexão com o mundo externo	Fluidez
40	Eu estava totalmente ocupado com o jogo	Fluidez
10	Eu pensei sobre outras coisas	Efeito Negativo
11	Eu o achei cansativo	Efeito Negativo
18	Eu me senti entediado	Efeito Negativo
25	Eu estava distraído	Efeito Negativo
35	Eu me senti entediado com a história	Efeito Negativo
38	O jogo me deixou com mau humor	Efeito Negativo
1	Eu me senti contente	Efeito Positivo
4	Eu poderia rir com o jogo	Efeito Positivo
6	Eu me senti feliz	Efeito Positivo
16	Eu me senti bem	Efeito Positivo
22	Eu gostei	Efeito Positivo
41	Eu achei divertido	Efeito Positivo

3	Eu estava interessado no jogo	Imersão Sensorial e Imaginativa
14	O jogo era esteticamente agradável	Imersão Sensorial e Imaginativa
20	Eu me senti imaginativo	Imersão Sensorial e Imaginativa
21	Eu senti que podia explorar coisas	Imersão Sensorial e Imaginativa
30	Eu o achei impressionante	Imersão Sensorial e Imaginativa
33	Eu senti uma experiência completa/rica	Imersão Sensorial e Imaginativa
7	Eu me senti tenso	Tensão
9	Eu me senti cansado	Tensão
24	Eu me senti incomodado	Tensão
27	Eu me senti irritado	Tensão
32	Eu me senti frustrado	Tensão
39	Eu me senti pressionado	Tensão

CUE Test e RPE - Análise Funcional

1	O jogo permite movimento de membros superiores	Funcionalidade
2	O jogo permite movimento de ombros	Funcionalidade
3	O jogo permite movimento de cotovelos	Funcionalidade
4	O jogo permite movimento de punhos	Funcionalidade
5	O jogo permite movimento de flexão dos ombros	Funcionalidade
6	O jogo permite movimento de abdução de ombros	Funcionalidade
7	Os movimentos do jogo são funcionais para membros superiores	Funcionalidade
8	Avalie quanto ao esforço físico (BORG - Nível de exaustão percebido)	Funcionalidade
9	Avalie quanto ao cansaço (BORG - Escala Modificada de Borg para Dispneia)	Funcionalidade