

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Informática
Programa de Pós-Graduação em Informática

Estudo e Desenvolvimento de um Sistema Baseado
em Jogos para Gerenciamento e Acompanhamento
Remoto de Terapia para Reabilitação Motora

Rômulo Costa de Menezes Júnior

João Pessoa, Paraíba, Brasil
Julho de 2013

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Informática
Programa de Pós-Graduação em Informática

Estudo e Desenvolvimento de um Sistema Baseado em Jogos
para Gerenciamento e Acompanhamento Remoto de Terapia
para Reabilitação Motora

Rômulo Costa de Menezes Júnior

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em
Informática da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos
necessários para obtenção do grau de Mestre em Informática.

Área de Concentração: Ciência da Computação
Linha de Pesquisa: Computação Distribuída

Dr. Álvaro Francisco de Castro Medeiros
(Orientador)

João Pessoa, Paraíba, Brasil

©Rômulo Costa de Menezes Júnior, Julho de 2013

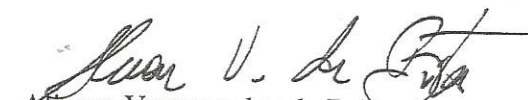
M543e Menezes Júnior, Rômulo Costa de.
Estudo e desenvolvimento de um sistema baseado em jogos para gerenciamento e acompanhamento remoto de terapia para reabilitação motora / Rômulo Costa de Menezes Júnior.-- João Pessoa, 2013.
97f. : il.
Orientador: Álvaro Francisco de Castro Medeiros
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CI
1. Informática. 2. Ciência da computação. 3. Análise e levantamento de requisitos. 4. Desenvolvimento de sistemas. 5. Jogos para a saúde. 6. Reabilitação física.

UFPB/BC

CDU: 004(043)

Ata da Sessão Pública de Defesa de Dissertação de
Mestrado de **Rômulo Costa de Menezes Júnior**,
candidato ao Título de Mestre em Informática na
Área de Sistemas de Computação, realizada em 30
de Julho de 2013.

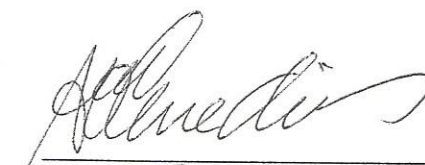
Ao trigésimo dia do mês de Julho do ano dois mil e treze, às dezessete horas, no laboratório 2 da Escola Superior de Redes - Universidade Federal da Paraíba, reuniram-se os membros da Banca Examinadora constituída para examinar o candidato ao grau de Mestre em Informática, na área de "*Sistemas de Computação*", na linha de pesquisa "*Computação Distribuída*", o Sr. **Rômulo Costa de Menezes Júnior**. A comissão examinadora foi composta pelos professores doutores: ÁLVARO FRANCISCO DE CASTRO MEDEIROS (PPGI-UFPB), Orientador e Presidente da Banca, ANTÔNIO CARLOS CAVALCANTI (PPGI-UFPB), examinador interno e FILOMENA MARIA G. DA S. CORDEIRO MOITA (UEPB) como examinadora externa. Dando início aos trabalhos, o professor ÁLVARO FRANCISCO DE CASTRO MEDEIROS cumprimentou os presentes, comunicou aos mesmos a finalidade da reunião e passou a palavra ao candidato para que o mesmo fizesse, oralmente, a exposição do trabalho de dissertação intitulado "*Avaliação das Funcionalidades de um Sistema Baseado em Jogos para Gerenciamento e Acompanhamento Remoto de Terapia para Reabilitação Motora*". Concluída a exposição, o candidato foi arguido pela Banca Examinadora que emitiu o seguinte parecer: "*Aprovado*". Assim sendo, deve a Universidade Federal da Paraíba expedir o respectivo diploma de Mestre em Informática na forma da lei e, para constar, eu, professor Alisson Vasconcelos de Brito, Coordenador deste programa, servindo de secretário, lavrei a presente ata que vai assinada por mim e pelos membros da Banca Examinadora. João Pessoa, 30 de Julho de 2013.

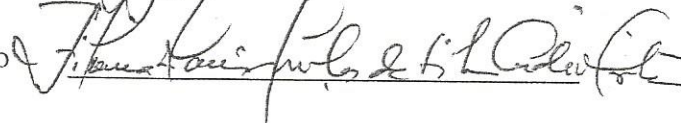

Alisson Vasconcelos de Brito

Prof. Dr. Álvaro Francisco de Castro Medeiros
Orientador (PPGI-UFPB)

Prof. Dr. Antônio Carlos Cavalcanti
Examinador Interno (PPGI-UFPB)

Profa. Dra. Filomena Maria G. da S. Cordeiro
Moita
Examinadora externa (UEPB)





Resumo

O tratamento fisioterapêutico pode se beneficiar da utilização de sistemas de informação baseados em jogos para estimular a prática dos exercícios de reabilitação e gerenciar a terapia do paciente. A popularização de dispositivos de interface natural com o usuário, como o Kinect, fomentou o desenvolvimento destas aplicações, permitindo que o tratamento possa ser gerenciado por tais sistemas. Para que estas aplicações possam contribuir com o tratamento fisioterapêutico na clínica ou no domicílio do paciente, de forma remota, devem apresentar características motivacionais, auxiliar o paciente na execução correta dos movimentos, ser adaptável às necessidades do paciente, auxiliar no diagnóstico e gerenciar a evolução do tratamento. Desta forma, a partir de investigação e análise comparativa de trabalhos publicados na literatura, este trabalho buscou especificar, desenvolver, avaliar e analisar as funcionalidades necessárias para um sistema de informação baseado em jogos para o tratamento fisioterapêutico. O sistema desenvolvido contém todas as características desejáveis para ser utilizado por profissionais de fisioterapia no tratamento fisioterapêutico. A avaliação do sistema foi realizada por profissionais de fisioterapia, a partir de questionários, descrevendo a experiência de utilização. A análise da experimentação revelou que o sistema obteve boa aceitação entre os fisioterapeutas e que poderia ser utilizado no tratamento de diversas patologias. Entretanto, ainda é necessário modificar o comportamento de algumas funcionalidades, como aumentar a quantidade de elementos lúdicos para melhorar a motivação, ajustes dinâmicos na mecânica de detecção de movimentos e gerar relatórios sobre a evolução para um tratamento.

Palavras-chave: Jogos Sérios, Análise e Levantamento de Requisitos, Desenvolvimento de Sistemas, Jogos para Saúde, Reabilitação Física.

Abstract

Physical therapy treatment could take advantage of the use of information systems based games to encourage the practice of rehabilitation exercises and monitor therapy. The popularization of devices that capture the motion as Kinect fostered the development of such applications to interact with patients to physical rehabilitation systems, allowing to be used remotely. For these applications could help with physical therapy in the clinic or in the patient's home, remotely, they shall provide motivational characteristics to assist the patient in the correct execution of movements, be adaptable to the needs of patients and help diagnose during the evolution of the treatment. Thus, from research and comparative analysis of published studies, this study aimed to specify and develop the most important elements that a system for physical therapy should include, looking of a complete system-based games. This research resulted in the development of a prototype containing all the desirable characteristics that have been identified and may be used by physical therapists to assist in physical therapy. The features were developed and evaluated by experienced physical therapists from questionnaires to describe the user experience and possible additional needs. The trial and the results of the questionnaire revealed that the system was well accepted among therapists and already could be used to treat various diseases. However, it is still necessary to develop more playful elements in games, to improve motivation; make small corrections in mechanical motion detection and generate a report about the treatment evolution.

Keywords: Serious Games, Games for Health, Physical Rehabilitation, Development and Systems Analysis.

Agradecimentos

À minha Mãe, por seu cuidado, dedicação e carinho que me foi dada em diversos momentos, me enchendo de coragem e esperança para seguir em frente. À minha família, por investir e acreditar na minha capacidade.

Ao meu professor orientador Álvaro, o qual me acompanhou durante o percurso traçado com sua paciência e compreensão me incentivou e acreditou neste trabalho.

Aos integrantes da Banca Examinadora, pelos comentários e sugestões apresentadas com o objetivo de melhorar o trabalho.

À CAPES, pelo suporte financeiro.

À todos os membros do programa de mestrado que compartilharam sabedoria e conhecimento, contribuindo para minha formação.

Aos amigos de sempre, pelas alegrias e dificuldades compartilhadas em diversos momentos. Aos meus colegas de sala, os quais sempre obtive apoio nos momentos de dificuldade.

Aos novos amigos que fiz do curso de Fisioterapia, Arthur Ramos e Pâmella Karolline, por todo acolhimento e ajuda durante esta pesquisa.

À minha namorada Helen, pessoa com quem amo compartilhar meus momentos de felicidade e tristeza. Obrigado pelo carinho, a paciência e por sua capacidade de me trazer alegria.

A todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação	2
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivo Geral	3
1.2.2	Objetivos Específicos	3
1.3	Metodologia	4
1.4	Estrutura da Dissertação	5
2	Sistemas Baseados em Jogos para Reabilitação Fisioterapêutica	6
2.1	Classificação	6
2.2	Sistemas e Dispositivos para Captura de Movimento na Reabilitação Fisioterapêutica	7
2.2.1	Câmeras e Marcadores	8
2.2.2	Câmeras sem Marcadores	9
2.2.3	Wii Fit	10
2.2.4	Sensores Ópticos	10
2.2.5	Kinect	11
2.3	Utilização do Kinect para Reabilitação Física	12
2.4	Classificação para Sistemas Baseados em Jogos para Reabilitação Fisioterapêutica	14
2.4.1	Requisitos para Reabilitação	14
2.4.2	Requisitos Motivacionais	17
2.5	Discussão	18

3	Trabalhos Relacionados	20
3.1	Análise das Funcionalidades	20
3.2	Discussão	25
4	Desenvolvimento do Sistema	27
4.1	Descrição do Sistema	28
4.1.1	Módulo do Paciente	29
4.1.2	Módulo do Fisioterapeuta	30
4.1.3	Módulo Servidor	32
4.2	Desenvolvimento e Arquitetura dos Jogos (Módulo do Paciente)	33
4.2.1	<i>Game Loop</i>	33
4.2.2	Jogo para Movimentos Específicos	33
4.2.3	Jogo para Movimentos Variados	39
4.2.4	Configuração Remota	45
4.3	Discussão	48
5	Processo de Desenvolvimento	50
5.1	Processo de Desenvolvimento de Jogos Sérios	50
5.2	Práticas Ágeis	51
5.2.1	Utilizando Scrum	52
5.2.2	<i>Sprints</i>	52
5.3	Discussão	55
6	Avaliação Experimental	56
6.1	Experimento	56
6.1.1	Plano e Execução do Experimento	57
6.2	Análise do Experimento	58
6.2.1	Análise da Dinâmica do Jogo	59
6.2.2	Análise dos Elementos Fisioterapêuticos	65
6.2.3	Análise do Módulo do Fisioterapeuta	71
6.3	Discussão	72

7	Considerações Finais	75
7.1	Dispositivos de Detecção e Kinect	75
7.2	Desenvolvimento de Jogos para Saúde	76
7.3	Avaliação do Sistema	76
7.4	Principais Contribuições	77
7.5	Sugestões para Trabalhos Futuros	77
	Referências Bibliográficas	83
A	Funcionamento do Kinect	84
A.1	Sensores do Kinect	84
A.1.1	Câmera RGB	84
A.1.2	Sensor de profundidade	85
A.1.3	Array de microfones	86
A.2	Reconhecimento de Pessoas	87
B	Sistemas Comerciais para Reabilitação Fisioterapêutica com o Kinect	89
C	Questionário Avaliativo	91
D	Ferramental Utilizado	96
D.1	XNA	96
D.2	Unity3D	97

Lista de Símbolos

API : *Application Programming Interface*

AVC : Acidente Vascular Cerebral

RGB : *Red, Green e Blue*

CMOS : *Complimentary Metal-Oxide Semiconductor*

GSR : *Galvanic Skin Response*

IDE : *Integrated Development Environment*

NPC : *Non Player Controller*

VS : *Visual Studio*

Lista de Figuras

2.1	Jogo para auxiliar a recuperação dos movimentos dos membros superiores e relatório de utilização por mapa de cor. (Adaptada de: Burke [BURKE et al., 2009])	8
2.2	Jogos para auxiliar a recuperação de movimentos da mão. (Adaptada de Evett [EVETT et al., 2011])	9
2.3	Reabilitação utilizando os jogos e identificando os movimentos com o Io-Tracker e Kinect. (Adaptada de: Schonauer [SCHONAUER; PINTARIC, 2011]).	11
2.4	Comparações entre os dados obtidos pelo Kinect e OptiTrack. (Adaptado de: Chang[CHANG et al., 2012]	12
2.5	Comparações entre os dados obtidos pelo Kinect e ioTracker. (Adaptado de: Schonauer [SCHONAUER; PINTARIC, 2011].	13
2.6	Posição necessária para a câmera rastrear o usuário. (Adaptado de: Lange [LANGE et al., 2012])	15
2.7	Um sistema deve ser configurável por um profissional qualificado e gerar relatórios para análise.	16
2.8	Arquivo de registro do desempenho do jogador/paciente durante a sessão, utilizado por Freitas [FREITAS et al., 2012].	16
3.1	Jogo <i>Rehabtimals Pro</i> para estímulo a repetição de movimentos. (Adaptado de: [FERN’NDEZ-BAENA; SUSIN; LLIGADAS, 2012])	21
3.2	Medições realizadas utilizando captura por sensores ópticos e Kinect. (Adaptado de: [FERN’NDEZ-BAENA; SUSIN; LLIGADAS, 2012]).	21

3.3	Jogos utilizando o Kinect para estimular movimentos em idosos. (Adaptado de: [BORGHESE et al., 2012]).	22
3.4	Ambientes em três dimensões respondendo à interação com o Kinect. Fonte: (CHANG et al., 2012).	23
3.5	Jogo para estimular a movimentação de movimentos e alcançar objetos. Fonte: (LANGE et al., 2012).	23
3.6	Utilizando o Kinect para detectar movimentos e alcançar objetos virtuais. Fonte: (YEH et al., 2012).	24
3.7	Jogos para auxiliar a reabilitação física com o auxílio de Kinect a partir de repetição de movimentos. Fonte: Freitas (FREITAS et al., 2012).	25
4.1	Comunicação entre os módulos no sistema desenvolvido.	28
4.2	Jogo para repetição de movimentos, configurado para o movimento de abdução e adução horizontal do ombro no plano coronal.	29
4.3	Jogo para a execução de movimentos amplos - Menu principal do jogo . . .	30
4.4	Módulo do fisioterapeuta e a janela para configuração de exercícios.	30
4.5	Janela do módulo do fisioterapeuta para revisão do relatório.	31
4.6	Calculando a angulação do movimento de abdução e adução do ombro no plano coronal.	32
4.7	Módulo servidor em execução	32
4.8	Diagrama de classe do jogo para movimentos específicos	34
4.9	Ilustração das articulações captadas pelo Kinect. Fonte: (WEBB; ASHLEY, 2011).	35
4.10	Modelo de objetos do esqueleto captado pelo Kinect. Fonte: (WEBB; ASHLEY, 2011).	37
4.11	Lei dos Cossenos.	37
4.12	Tela inicial do Jogo para movimentos amplos	40
4.13	Jogo 3D Pong que serviu de inspiração para o segundo jogo criado.	41
4.14	Cena do jogo no modo de um jogador.	42
4.15	Cena do jogo no modo para dois jogadores.	43
4.16	bolaNetworkview	44

4.17	Comunicação Cliente (Paciente)/Servidor	46
4.18	Comunicação Cliente (Fisioterapeuta)/Servidor	47
4.19	Atributos dos objetos serializados no arquivo de configuração.	49
5.1	Abordagem proposta por Seager para desenvolvimento de jogos sérios. (Baseada em Seager (SEAGER et al., 2011))	51
6.1	Estrutura montada para o experimento.	57
6.2	Participante experimentando o sistema.	57
6.3	Mapa de cor para os movimentos de flexão/extensão no plano sagital, adução/abdução no plano coronal, flexo abdução no plano transversal e rotação interna e externa no plano transversal.	58
6.4	Estatísticas da pergunta sobre a facilidade de jogar.	60
6.5	Estatísticas da pergunta sobre os desafios do jogo	60
6.6	Estatísticas da pergunta sobre o nível de interação proporcionado pelo jogo	61
6.7	Estatísticas da pergunta sobre o nível de diversão proporcionado pelo jogo	62
6.8	Estatísticas da pergunta sobre os cenários e ambientes do jogo	63
6.9	Estatísticas da pergunta sobre os cenários e ambientes do jogo	64
6.10	Estatísticas da pergunta sobre o controle para o movimento de adução/abdução vertical no plano coronal do ombro	65
6.11	Estatísticas da pergunta sobre o controle para o movimento de flexão/extensão vertical no plano sagital do ombro	67
6.12	Estatísticas da pergunta sobre o controle para o movimento de flexo adução horizontal no plano transversal	68
6.13	Estatísticas da pergunta sobre o controle para o movimento de rotação externa e interna no plano transversal.	68
6.14	Estatísticas para a pergunta sobre a função fisioterapêutica do jogo	69
6.15	Estatísticas para a pergunta sobre a compatibilidade do jogo em relação ao tratamento fisioterapêutico	70
6.16	Estatísticas para a pergunta sobre a avaliação da ferramenta de gerenciamento da terapia	72

6.17	Estatísticas para a pergunta sobre a avaliação da ferramenta de acompanhamento da terapia	73
A.1	Sensores do Kinect, sem a capa protetora. (Baseado em [MILES, 2012]). . .	84
A.2	Detalhes do sensor de profundidade do Kinect Projetor. Baseado em (MILES, 2012).	86
A.3	Imagem fotográfica retirada em ambiente iluminado e não iluminado, através de uma câmera com visão noturna, enquanto o Kinect estava ativo. (Baseado em: [MILES, 2012]).	86
A.4	Campo de visão do Kinect. (Fonte: [WEBB; ASHLEY, 2011]).	87
A.5	Capacidade de identificação de pessoas do Kinect.	87
B.1	Medição do ângulo durante o movimento de abdução do braço esquerdo. . .	89
B.2	Reflexion	90
B.3	SeeMe	90
D.1	Modelo de componentes do motor de jogo XNA. Fonte: (NITSCHKE, 2008). .	97
D.2	Pipeline de conteúdo. Fonte: (NITSCHKE, 2008)	97
D.3	Ciclo de vida completo de um jogo XNA, métodos Update e Draw formando um loop do jogo. Fonte: (REED, 2010 - p. 20).	98
D.4	Hierarquia do projeto de um jogo no Unity3D. Fonte: (XIE, 2012)	98
D.5	Modelo de componente no Unity3D. Fonte: (XIE, 2012)	99
D.6	Modelo orientado a evento. Fonte: Fonte: (XIE, 2012)	99

Lista de Tabelas

2.1	Taxonomia dos jogos para saúde criada por Sawyer [Sawyer 2008]	7
3.1	Análise dos trabalhos	26
4.1	Lista dos comandos do protocolo da aplicação	48
5.1	<i>Product Backlog</i> para a versão Alpha	53
5.2	<i>Product Backlog</i> para a versão Beta	54
5.3	<i>Product Backlog</i> para a versão Completa	55
A.1	Modos de operação da câmera RGB do Kinect.	85

Lista de Códigos Fonte

4.1	Método Update da classe	34
4.2	Método Update da classe SkeletonStream.	36
4.3	Função da classe UtilsKinect para calcular o ângulo entre duas articulações no plano coronal	38
4.4	Função que monitora o posicionamento e se há desviu na coluna	39
4.5	Movimentação do NPC no jogo	41
4.6	Movimentação e interação da bola com os jogadores	42
4.7	Movimentação e interação da bola com os jogadores	45

Capítulo 1

Introdução

O tratamento fisioterapêutico busca auxiliar o paciente a recuperar os movimentos cotidianos e tem o objetivo de recuperar movimentos básicos que foram perdidos, além de realizar a integração do paciente para atividades de trabalho e lazer. Utilizando a cinesioterapia, ramo da fisioterapia que utiliza técnicas de movimentação para auxiliar na cura, diversos problemas de saúde podem ser tratados e recuperados.

A deficiência física ou motora pode surgir a partir de diversas situações, como por exemplo, acidente vascular cerebral (AVC), lesão na medula espinhal ou lesão cerebral. O pós-cirúrgico de fraturas, mastectomia ou bursite também deve ser tratado a partir do estímulo ao movimento para não limitar as capacidades de um paciente. Assim, é necessário realizar o tratamento para que tais problemas não limitem as capacidades de um paciente para atividades cotidianas.

Entretanto, o tratamento fisioterapêutico possui um alto custo e um longo período para recuperar os movimentos, que depende do esforço e da prática intensa dos exercícios. Estes exercícios são repetitivos e podem ser dolorosos, podendo tornar o tratamento entediante e incômodo para os pacientes. Tais problemas podem gerar resistência ou até mesmo a desistência do paciente.

A introdução de sistemas de informação baseados em jogos para guiar e controlar a execução dos exercícios de fisioterapia é uma abordagem que pode ser utilizada durante a prática de reabilitação fisioterapêutica [Papangelis et al. 2012]. Tais sistemas tem a capacidade de armazenar dados dos pacientes, gerar dados sobre a evolução do tratamento, auxiliar os profissionais de saúde na tomada de decisões e podem ser um recurso motivacional para os

pacientes quando utilizam elementos lúdicos e interativos presentes nos jogos.

Com a utilização de tais sistemas ainda é possível que o tratamento fisioterapêutico possa ser feita no domicílio do paciente ou em uma clínica/hospital e transmitir remotamente para profissionais de fisioterapia um relatório a partir do tratamento definido. De forma auxiliar aos sistemas, diversos dispositivos podem ser utilizados para detectar e capturar o movimento dos pacientes, guiando em uma execução correta dos exercícios. A captura dos movimentos pode ser feita através de dispositivos como câmeras, acelerômetros ou sensores ligados ao corpo.

A popularização do Kinect, dispositivo criado pela Microsoft para a captura de movimentos, fomentou o surgimento de diversas pesquisas para explorar os recursos deste aparelho além dos jogos para entretenimento [Kramer et al. 2012], incluindo para reabilitação física e o tratamento fisioterapêutico. O Kinect é um dispositivo não invasivo e suas medições são semelhantes às captadas por outros dispositivos mais robustos, como MoCaps [Chang, Chen e Huang 2011] [Schonauer e Pintaric 2011].

Diversos estudos desenvolveram sistemas baseados em jogos para auxiliar o tratamento fisioterapêutico, Rego [Rego, Moreira e Reis 2010] explorou as características e funcionalidade de vários sistemas, criando uma taxonomia para aplicações com estas características. Pesquisas mais recentes que utilizaram o Kinect como dispositivo auxiliar para a captura de movimento durante o tratamento não foram mapeadas em tal taxonomia. Desta forma, a partir da identificação de características presentes em pesquisas que utilizaram o Kinect foi possível desenvolver um sistema contendo os principais recursos necessários para auxiliar o tratamento fisioterapêutico guiado por jogos e remoto.

1.1 Motivação

Diversos tipos de problemas podem ser tratados pelo estímulo aos movimentos dos membros superiores, tais como o tratamento de mulheres mastectomizadas, o pós-cirúrgico de fratura de membros superiores, o ombro congelado e a bursite subacromial são alguns exemplos. Tais movimentos podem ser detectados por tecnologias de captura de movimento como o Kinect, e guiados por sistemas específicos para o tratamento fisioterapêutico.

Para o estímulo ao movimento, sistemas baseados em jogos podem gerar diversos bene-

fícios durante a reabilitação fisioterapêutica, como a motivação para o paciente e relatórios para o acompanhamento do fisioterapeuta. De acordo com Dias [Dias, Sampaio e Taddeo 2009], o lúdico dos jogos digitais se apresenta como elemento motivador dentro do processo de reabilitação, formando um ambiente propício para aumentar a motivação do paciente.

Toda via, para desenvolver tais sistemas é necessário identificar as funcionalidades necessárias que devem estar presentes para que estes sistemas consigam efetivamente contribuir com a reabilitação. Segundo Teixeira [Teixeira, Ferreira e Santos 2012], a utilização de sistemas de informação para a saúde, embora consigam trazer soluções e auxiliar na recuperação da saúde dos pacientes, devem ser projetados de forma cuidadosa para não trazer efeitos negativos. Diante disto, as funcionalidades destes sistemas devem ser desenvolvidas de forma criteriosa, identificando e explorando os problemas e as necessidades levantadas por pesquisas na literatura e avaliando a aceitação e percepções de tais funcionalidades por profissionais de fisioterapias.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de informação baseado em jogos, para o gerenciamento e acompanhamento de pacientes durante a reabilitação fisioterapêutica, avaliando e analisando aspectos funcionais, elementos motivacionais, de gerenciamento e para o acompanhamento remoto do tratamento por meio de uma questionário realizado com fisioterapeutas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar e mapear as funcionalidades presentes nos trabalhos publicados que utilizaram o Kinect e jogos para reabilitação física e motora;
- Analisar objetivamente as funcionalidades dos sistemas encontrados em trabalhos relacionados de acordo com a classificação de Rego [Rego, Moreira e Reis 2010];
- Estabelecer um conjunto de requisitos para ser desenvolvido em um sistema de reabi-

litação física e motora a partir dos estudos selecionados;

- Desenvolver um sistema para reabilitação fisioterapêutica a partir dos requisitos levantados;
- Avaliar os elementos motivacionais, gerenciamento e de acompanhamento do tratamento remoto que estão presentes no sistema;
- Verificar a aceitação do sistema para reabilitação física a partir de pesquisa em campo com profissionais de fisioterapia através de questionários.

1.3 Metodologia

Inicialmente, foi realizada uma revisão na literatura para identificar trabalhos que utilizam sistemas baseados em jogos com a finalidade de auxiliar no tratamento fisioterapêutico e que utilizaram o Kinect como dispositivo para captura de movimentos. Os principais estudos foram selecionados e as características presentes foram analisadas de acordo com a classificação de Rego [Rego, Moreira e Reis 2010].

Após a análise de características dos trabalhos relacionados, os requisitos foram levantado para que o sistema pudesse ser desenvolvido, contendo um conjunto inédito com todas as funcionalidades identificadas em diferentes trabalhos. O desenvolvimento foi realizado com o apoio de um profissional de fisioterapia, que participou do processo de desenvolvimento realizando observações, ajustando parâmetros e interpretando conceitos específicos da área. Ao termino do desenvolvimento, o sistema desenvolvido foi experimentado e avaliado por alunos do curso de fisioterapia que possuíam, no mínimo, dois anos de experiência na clínica-escola.

Após a utilização do módulo do fisioterapeuta, configurando diversos parâmetros para o jogo, os participantes experimentaram o jogo de acordo com os parâmetros de angulação, tempo, tipo de movimento especificados previamente. Ao final irá analisar o relatório de utilização para avaliar como se deu sua execução. Assim, os resultados das percepções sobre as diferentes funcionalidades do sistema poderão ser analisados e utilizados para a melhoria das funcionalidades consideradas mais importantes pelos utilizadores.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta proposta de dissertação está organizada da seguinte forma:

- O Capítulo 2 trás um estudo sobre os sistemas baseados em jogos para reabilitação fisioterapêutica e a presença dos dispositivos de *hardware* em diversos trabalhos;
- O Capítulo 3 faz uma análise sobre as funcionalidades presentes nos trabalhos que utilizaram o Kinect e jogos para auxiliar a reabilitação física;
- O Capítulo 4 descreve as funcionalidades selecionadas a partir dos trabalhos analisados e o desenvolvimento do protótipo;
- O Capítulo 6 descreve a avaliação do sistema, a aplicação do questionário e a discussão quanto aos resultados e percepções dos fisioterapeutas;
- O Capítulo 7 trás a conclusão do trabalho e uma discussão sobre as contribuições e trabalhos futuros.

Capítulo 2

Sistemas Baseados em Jogos para Reabilitação Fisioterapêutica

Os jogos quando utilizados para tratamentos da saúde podem trazer diversos tipos de benefícios. Podem servir para facilitar na prática dos exercícios de reabilitação, de forma adicional ou a complementar o método tradicional. Além de auxiliar no diagnóstico, sendo úteis aos profissionais de saúde para avaliação do paciente, no registro da evolução do tratamento, podem estimular o paciente durante a execução de exercícios de reabilitação. De acordo com Bartolomé [Bartolomé 2011], a utilização dos elementos presentes em tais sistemas podem auxiliar na reabilitação física ou cognitiva de pacientes, utilizando recursos como realidade aumentada, realidade virtual, ambientes imersivos, interação e o acesso através de múltiplas plataformas.

2.1 Classificação

A medicina pode utilizar sistemas baseados em jogos de diversas maneiras. Existem jogos que auxiliam no tratamento de pacientes com problema cognitivo ou motor, alguns jogos podem servir para dar suporte ou auxiliar na formação e treinamento de profissionais de saúde para procedimentos médicos. É possível encontrar jogos para auxiliar o jogador a melhorar o condicionamento físico e jogos para auxiliar durante a terapia, ao entreter o paciente enquanto distraem da dor.

Sawyer [Sawyer 2008] criou uma taxinomia buscando classificar os diferentes jogos que

são utilizados de alguma forma na área de saúde. O relacionamento entre diferentes entidades e várias áreas é a base para a classificação inicial dos jogos para saúde. Na Tabela 2.1 é ilustrado como este relacionamento classifica jogos para saúde, destacando as principais categorias que os jogos para fisioterapia se enquadram.

Tabela 2.1: Taxonomia dos jogos para saúde criada por Sawyer [Sawyer 2008]

Área de atividade da saúde	Pessoal	Prática Profissional	Pesquisa e Academia	Saúde Pública
Preventivo	<i>Exergaming</i> e Stress	Comunicação com o paciente	Coleta de dados	Informações sobre saúde pública
Terapêutica	Reabilitação, Cuidados com a doença	Distração da dor, <i>Ciber</i> -Psicologia, Cuidados com a doença	Humanos virtuais	Primeiros Socorros
Avaliação	Autoavaliação	Avaliação	Incitamento	Interface e visualização
Educacional	Informações de primeiros socorros	Treinamento de habilidades	Recrutamento	Treinamento e Simulação
Informática	Registros pessoais	Registros médicos eletrônicos	Visualização	Epidemiologia

Para sistemas de reabilitação fisioterapêutica, os jogos utilizados podem se enquadrar em diversas categorias, dependendo dos objetivos e funcionalidades implementadas. Podem auxiliar na execução de movimentos, registrar dados sobre a evolução dos exercícios do paciente, distrair da dor ao utilizar elementos lúdicos e gerar relatórios com informações sobre a terapia.

2.2 Sistemas e Dispositivos para Captura de Movimento na Reabilitação Fisioterapêutica

Diversos dispositivos para capturar movimentos do corpo foram utilizados em pesquisas para auxiliar na reabilitação física. Tais equipamentos foram fundamentais para que seja possível verificar os exercícios e responder de acordo com os movimentos, auxiliando a execução pelos mesmos pacientes. Algumas das tecnologias que já foram utilizadas são: câmeras RGB com marcadores ou sem marcadores, dispositivos hápticos, acelerômetros, sensores ópticos e receptores de biosinais.

É possível utilizar uma ou mais tecnologias para conseguir mais informações sobre o paciente durante o tratamento [Schonauer e Pintaric 2011]. Sensores ópticos e receptores de biosinais conseguem detectar precisamente os movimentos e captar informações musculares dos pacientes. Entretanto o fato de serem ligados ao corpo do paciente pode restringir os movimentos, gerar desconforto e somente podem ser utilizados por profissionais capacitados, normalmente em clínicas e hospitais.

Tais equipamentos também são de difícil aquisição e manipulação devido ao custo e complexidade de utilização e configuração. Câmeras e acelerômetros podem ser de mais fácil manipulação e acessíveis para tratamentos domésticos, permitindo que as sessões possam ser executadas fora de clínicas e hospitais [Chang, Lange e Zhang 2012]. Contudo, tecnologias mais simples podem não conseguir trazer a precisão necessária para alguns tratamentos.

2.2.1 Câmeras e Marcadores

Um dos trabalhos que utilizou câmeras e marcadores foi realizado por Burke [Burke et al. 2009]. Uma câmera RGB de baixo custo foi utilizada juntamente com um sistema baseado em jogos para auxiliar a fisioterapia e estimular a movimentação dos membros superiores do corpo de pacientes que sofreram AVC (Acidente Vascular Cerebral). O sistema desenvolvido utilizou marcadores coloridos (luvas coloridas) para detectar a posição das mãos e utilizar como dispositivo de entrada para o jogo. Após a terapia, o módulo de análise cria um mapa de cores e diversas estatísticas para auxiliar o diagnóstico do fisioterapeuta (Figura 2.1).

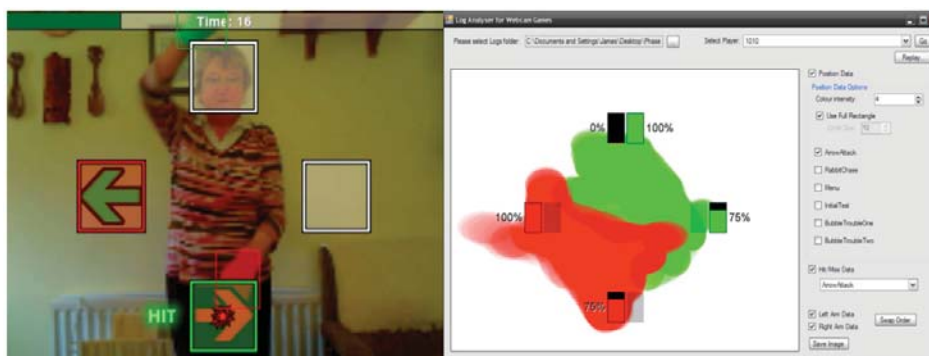


Figura 2.1: Jogo para auxiliar a recuperação dos movimentos dos membros superiores e relatório de utilização por mapa de cor. (Adaptada de: Burke [BURKE et al., 2009])

Por ser baseado em simples câmeras de computador e marcadores, o sistema pode ser

utilizado domesticamente e possui um baixo custo. Entretanto, tal sistema permite a captura de movimentos apenas em duas dimensões (altura e largura) além de ser necessário realizar uma pré-configuração para que as cores dos marcadores não sejam semelhantes ao ambiente, interferindo na detecção dos marcadores. De acordo com Burke [Burke et al. 2009], a resolução das câmeras pode afetar o desempenho do sistema de forma significativa.

2.2.2 Câmeras sem Marcadores

Evet [Evet et al. 2011] utilizou uma câmera RGB e uma câmera térmica para capturar movimentos sem o auxílio de marcadores para um sistema de recuperação de movimentos pós derrame e acidente vascular cerebral. O sistema tem como foco a recuperação de movimentos da mão, identificando movimentos de rotação e translação da mão para realizar a movimentação de personagens e elementos em dois jogos (Figura 2.2).

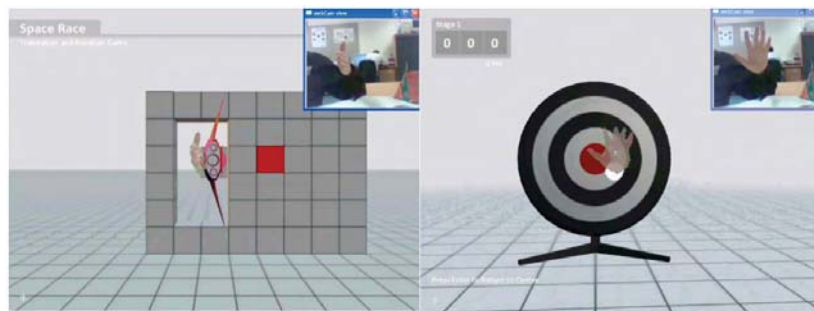


Figura 2.2: Jogos para auxiliar a recuperação de movimentos da mão. (Adaptada de Evett [EVETT et al., 2011])

A utilização de dispositivos sem marcadores permite que o paciente possa executar movimentos livremente, sem o impedimento de equipamentos ligados ao corpo, que podem gerar desconforto, restrições de higiene e dificuldades para o movimento. A utilização da câmera térmica para auxiliar a detecção da mão juntamente com a câmera RGB pode trazer outros benefícios, como o acompanhamento da temperatura do paciente. De acordo com Evett [Evet et al. 2011], tal configuração pode apresentar alguns problemas para reconhecer dedos e a sensibilidade pode ser ineficiente para responder a alguns movimentos e dar a sensação de controle no jogo.

2.2.3 Wii Fit

O Wii Fit é um sistema de jogos do console Nintendo Wii, composto por uma plataforma sensível à pressão que é utilizado como dispositivo de entrada junto ao console. O paciente controla os jogos deslocando o peso entre os pés. Sugarman [Sugarman et al. 2009] utilizou o Wii Fit e jogos comerciais para reabilitação e recuperação de equilíbrio pós-AVC através dos jogos com pacientes idosos e que apresentam dificuldades de locomoção e perda de equilíbrio sem suporte (andador).

Os jogos foram utilizados de forma auxiliar ao tratamento comum, melhorando os resultados da recuperação e aumentando a confiança do paciente. Entretanto, os jogos comerciais de console normalmente não permitem personalização, fator importante para atender necessidades fisioterapêuticas e se adaptar ao ritmo do paciente.

2.2.4 Sensores Ópticos

Os sensores ópticos utilizados por Schonauer [Schonauer e Pintaric 2011] (ioTracker) são compostos por marcadores passivos colocados no corpo humano e que respondem à emissores infravermelho para transmitir o posicionamento. Para detectar a movimentação de um ser humano, tal dispositivo é posicionado em diferentes partes do corpo para transmitir a posição. Schonauer [Schonauer e Pintaric 2011] também utilizou diversos aparelhos para capturar os dados da utilização no usuário, como o ioTracker, Kinect e receptores de biosinais para realizar eletroencefalografia, eletrocardiograma, eletromiografia, a resposta galvânica da pele (GSR - *Galvanic Skin Response*) e capturar a respiração.

Os jogos foram utilizados para responder aos diversos dados capturados pelos sensores para auxiliar na reabilitação para dores crônicas (Figura 2.3). O objetivo do sistema foi testar a introdução de tais aparelhos como dispositivos de entrada para jogos de fisioterapia.

A utilização de sensores ópticos em pacientes pode ser inviável para utilização doméstica, sendo específicas para terapias realizadas em clínicas e hospitais. Utilizar dispositivos para captura de movimento ligados ao corpo do paciente permite captar de forma fiel cada movimento realizado, entretanto podem gerar desconforto por serem dispositivos ligados ao corpo. Os receptores de biosinais, como são dispositivos invasivos, também geram desconforto no paciente e não são adequados ao tratamento doméstico.

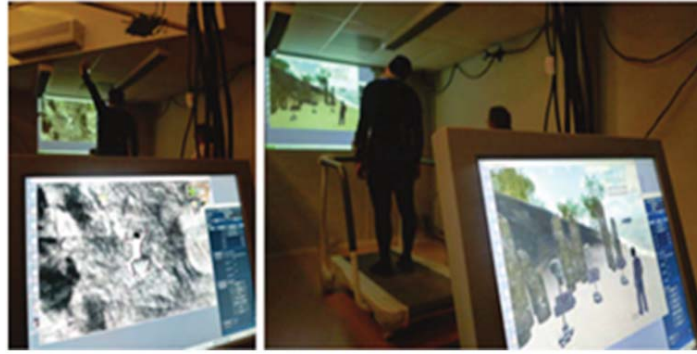


Figura 2.3: Reabilitação utilizando os jogos e identificando os movimentos com o IoTracker e Kinect. (Adaptada de: Schonauer [SCHONAUER; PINTARIC, 2011]).

2.2.5 Kinect

O Kinect fornece uma maneira de interação baseada em interface natural o usuário interagir com a aplicação. A finalidade inicial da Microsoft ao desenvolver o Kinect foi promover o uso de interfaces naturais para os jogos do Xbox360, detectando posições, gestos e movimentos do jogador, podendo identificar completamente até dois jogadores e a localização de até cinco jogadores. O Kinect é composto por uma câmera RGB, uma câmera de profundidade e um conjunto de microfones (Detalhes sobre o funcionamento do Kinect podem ser encontrados no Anexo A).

Em estudo realizado por Chang [Chang, Chen e Huang 2011], foi realizada uma avaliação de um sistema que utilizou o Kinect no tratamento de adultos com dificuldades de movimentação. Após a utilização do sistema, onde os movimentos foram detectados pelo Kinect, foi observada uma melhora na execução dos movimentos, redução da intervenção dos fisioterapeutas e maior motivação dos pacientes para a prática dos exercícios.

O Kinect pode ser utilizado como um sistema de captura em três dimensões, vertical (altura, profundidade e largura) sem marcadores de movimento, informando um esqueleto simplificado em tempo real. Diversas pesquisas buscaram incluir jogos com o Kinect e avaliar a inclusão destes no tratamento para reabilitação física e motora. Uma análise mais extensa sobre o Kinect em tratamentos de reabilitação é descrita na Sessão 3.1.

2.3 Utilização do Kinect para Reabilitação Física

O Kinect apresenta vantagens quando comparado a sistemas de câmeras com/sem marcadores. É possível detectar três dimensões (altura, largura e profundidade) em diferentes condições de iluminação, possuindo apenas algumas restrições de espaço. É uma alternativa de baixo custo comparado a detecção e captura por sensores, não necessitando de equipamentos ligados ao paciente. Equipamento com uma câmera RGB, câmera de profundidade e microfones, o Kinect é capaz de identificar e calcular corretamente a posição dos utilizadores. Além de possibilitar sua utilização em clínicas e nas casas dos pacientes, devido ao baixo custo e fácil operação.

Os gráficos ilustrados nas Figuras 2.4 e 2.5 descreve a comparação entre as medições do Kinect e dispositivos baseados em sensores físicos (*Optitrack* e *ioTracker*), utilizados nas pesquisas de Chang [Chang, Lange e Zhang 2012] e Schonauer [Schonauer e Pintaric 2011], respectivamente. O Kinect apresentou variação mínima no posicionamento de algumas articulações, entretanto, consegue representar as diferentes posições das partes do corpo.

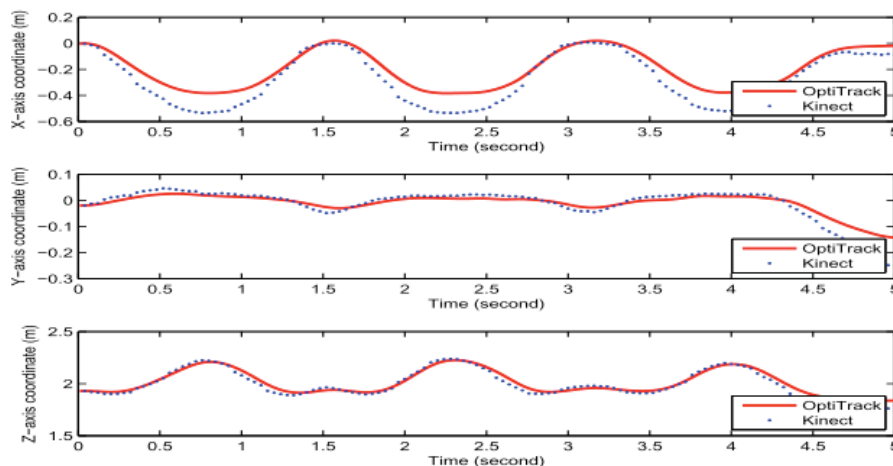


Figura 2.4: Comparações entre os dados obtidos pelo Kinect e OptiTrack. (Adaptado de: Chang[CHANG et al., 2012])

A precisão do Kinect foi verificada em diversos estudos, tais como Fern'ndez-Baena [Fern'ndez-Baena, Susin e Lligadas 2012], Schönauer [Schonauer e Pintaric 2011] e Chang [Chang, Lange e Zhang 2012]. Tais estudos mostram que a capacidade do Kinect para detectar os movimentos do corpo é semelhante aos dispositivos baseados em sensores, como o *OptiTrack* e o *ioTracker*.

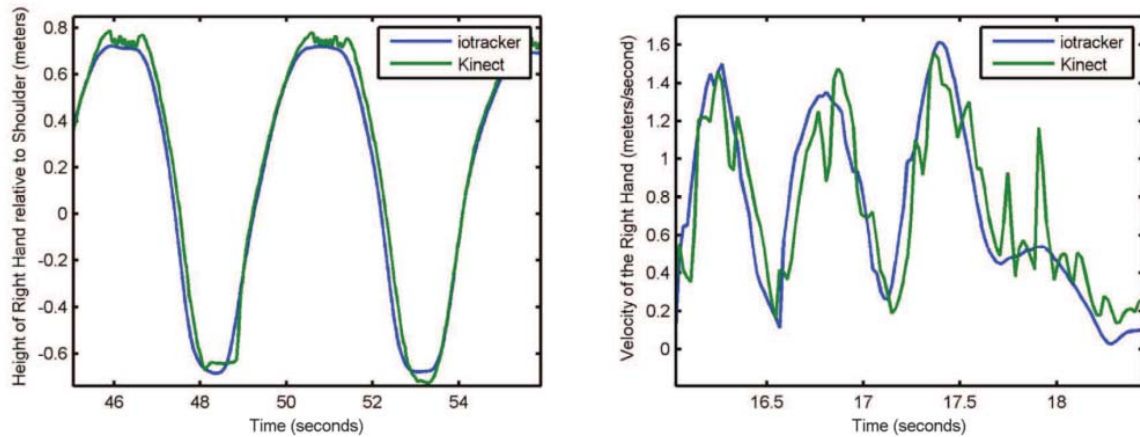


Figura 2.5: Comparações entre os dados obtidos pelo Kinect e ioTracker. (Adaptado de: Schonauer [SCHONAUER; PINTARIC, 2011].

Chang [Chang, Lange e Zhang 2012] e Schonauer [Schonauer e Pintaric 2011] compararam as medições capturadas pelo *OptiTrack* e *ioTracker*, respectivamente, com o Kinect. Mesmo sendo um dispositivo baseado por câmera sem marcadores e por sensor de profundidade, as posições capturadas pelo Kinect conseguiram ser bastante aproximadas quando comparadas aos dispositivos com sensores de movimentos. Schönauer [Schonauer e Pintaric 2011] verificou que o Kinect não consegue medir muitos parâmetros, além de possuir menor precisão. No entanto, o estudo demonstrou que um jogo personalizado foi bem controlado com Kinect.

De acordo com Fern'ndez-Baena [Fern'ndez-Baena, Susin e Lligadas 2012], durante um tratamento fisioterapêutico não é necessário uma precisão perfeita, uma vez que terapeutas trabalham com uma amplitude de movimento que pode variar em até 10°. Fern'ndez-Baena [Fern'ndez-Baena, Susin e Lligadas 2012], ao comparar sensores de movimento que utilizam marcadores e captura óptica verificou que a diferença para o Kinect foi de 6.78 até 8.98 graus.

2.4 Classificação para Sistemas Baseados em Jogos para Reabilitação Fisioterapêutica

Rego [Rego, Moreira e Reis 2010] descreve um modelo para classificar jogos de reabilitação segundo o conjunto de requisitos presentes. Identificando:

- Tecnologias de interação utilizadas;
- Adaptação às condições do paciente;
- Acompanhamento do progresso;
- Respostas ao desempenho do paciente;
- Local de utilização do sistema;
- Interface de jogo;
- Número de jogadores;
- Jogos competitivos ou colaborativos;
- Dinâmica de jogo.

Nas seções a seguir serão descritos os requisitos para sistemas de reabilitação que utilizam o Kinect e que tem como área de aplicação a reabilitação física e motora. Estão separados em dois grupos com objetivos diferentes: Requisitos para reabilitação e requisitos para motivação.

2.4.1 Requisitos para Reabilitação

a) Adaptáveis ao Paciente

Os jogos para tratamento motor ou cognitivo devem ser projetados de forma específica para um tipo de reabilitação, de acordo com as necessidades e particularidades dos pacientes. De acordo com Lewis [Lewis e Whitehead 2011], os jogos devem ser adaptáveis aos níveis de cognição do jogador e terem níveis de dificuldade acrescidos gradativamente. Da mesma

forma, também é necessário aplicar a adaptação e a evolução gradativa nos jogos para fisioterapia, em consonância com a evolução do tratamento.

Para tratamento motor, reconhecer os movimentos que o paciente pode realizar é um dos requisitos iniciais para a utilização do jogo. Durante a aplicação da pesquisa realizada por Lange [Lange et al. 2012], uma parte dos pacientes não conseguiu testar o jogo porque não passaram da fase de calibração (Figura 2.6). Esta fase é obrigatória em sistemas que utilizam o OpenNI, pois necessita que o jogador realize uma pose inicial para que o jogo possa rastreá-lo.



Figura 2.6: Posição necessária para a câmera rastrear o usuário. (Adaptado de: Lange [LANGE et al., 2012])

A aplicação de tais jogos deve ser realizada mesmo para aqueles que possuem problemas motores graves, esta é uma preocupação relevante para que as limitações não gerem desânimo nos pacientes, prejudicando sua reabilitação. O pacote de desenvolvimento disponibilizado pela Microsoft para desenvolver com o Kinect não necessita de tal posição para calibrar ou detectar os usuários, basta posicionar o jogador na frente do aparelho e utilizar o pacote para iniciar o dispositivo e aguardar o evento *SkeletonStream* (Ver Anexo A) para detectar um jogador.

Um sistema para auxiliar na reabilitação fisioterapêutica através de jogos deve contar com a presença de um módulo para acompanhamento e reconfiguração da dinâmica do jogo para se adaptar às necessidades clínicas do paciente. O profissional de fisioterapia poderá configurar o jogo para as necessidades de um paciente, ajustando os movimentos que devem ser realizados e os ângulos de trabalho para o exercício e irá utilizar o módulo para verificar

o relatório do exercício ao término da sessão (Figura 2.7).

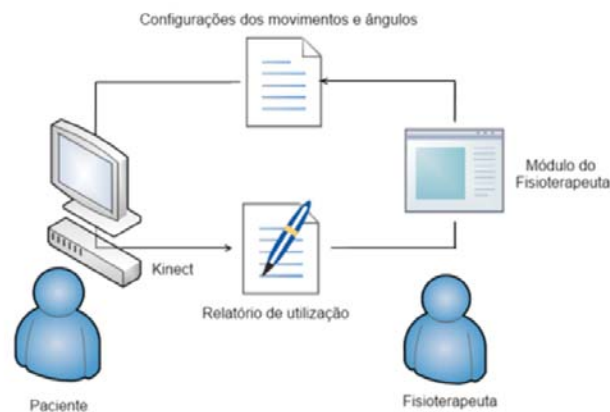


Figura 2.7: Um sistema deve ser configurável por um profissional qualificado e gerar relatórios para análise.

b) Monitoramento do Progresso

Para os jogos sérios serem considerados ferramentas úteis, eles devem fornecer um acompanhamento do progresso do jogador [Michael e Chen 2006]. Freitas [Freitas et al. 2012] utilizou o relatório da execução do exercício durante a aplicação dos jogos, relatando as seguintes informações: tipo de movimento, lado do corpo, duração do jogo/sessão, ângulos mínimos e máximos alcançados e a porcentagem de movimentos realizados errados ou com compensação de postura (Figura 2.8).

Report File
Therapy: Shoulder Frontal Abduction
Side: Right
Game duration: 03 minutes
Maximum Angle: 97 degrees
Minimum Angle: 8 degrees
Postural Compensation: 09 % of time
Wrong movement: 15 % of time

Figura 2.8: Arquivo de registro do desempenho do jogador/paciente durante a sessão, utilizado por Freitas [FREITAS et al., 2012].

Para acompanhar o progresso do movimento das articulações é possível gerar outras informações, tais como um mapa de cor sobre os movimentos de cada sessão, verificando a área atingida pelo paciente ou vídeos para revisar os movimentos durante a sessão. Burke [Burke et al. 2009] utilizou mapas de cor para verificar a área que os movimentos se concentraram durante a experimentação de um sistema baseado em câmeras. Desta forma, o monitoramento do progresso pode ser entendido como a capacidade do sistema de armazenar informações das interações com os pacientes.

c) Resposta ao Desempenho

As informações sobre o desempenho durante e após a interação com o jogo pode motivar a execução dos exercícios e auxiliar o fisioterapeuta a monitorar a postura e exercícios executados. Este recurso deve dar ao paciente uma medida de seu progresso na realização dos objetivos, ou em suas habilidades ao longo do tempo [Rego, Moreira e Reis 2010].

O jogo também deve informar caso um movimento seja executado de forma errada, emitindo um alerta para que o fisioterapeuta possa identificar e auxiliar o paciente na execução do movimento, além de registrar este erro em um relatório. Caso a postura do paciente esteja errada, é possível informar ao paciente sobre a postura e registrar tal evento, ficando em modo de espera até que o paciente se posicione corretamente.

d) Local de Utilização (Portabilidade)

É possível utilizar sistemas baseados no Kinect em casa, clínicas ou hospitais devido ao preço e fácil utilização, necessitando apenas de um computador ou notebook conectado com a Internet. Os dados sobre o exercícios do paciente podem ser configurados localmente ou através de conexão com a internet.

2.4.2 Requisitos Motivacionais

a) Interface de jogo

A utilização de ambientes com interface bidimensional e tridimensional pode contribuir com aspectos motivacionais para o jogador. De acordo com Lewis [Lewis e Whitehead 2011], ao utilizar um sistema para reabilitação física com diversos pacientes, foi sugerido que os jogos

utilizassem mais elementos de realidade virtual, como gráficos e ambientes mais realistas, pois podem ser mais motivadores e envolventes.

b) Número de jogadores

Um sistema pode ser classificado pela quantidade de jogadores em uma mesma partida. De acordo com Ballester [Ballester 2011], o modo de multijogador para o tratamento de pacientes vítimas de derrame cerebral pode gerar maior determinação ao trabalhar a reabilitação dos membros superiores, alcançando maiores amplitudes no movimento de flexão/extensão do cotovelo, se comparado com o modo de um jogador.

c) Competitivos/Colaborativos

Colaboração e competição podem adicionar uma nova dimensão aos jogos de reabilitação, o que pode permitir que os pacientes desfrutem da interação e possibilite maior motivação e encorajamento ao jogar.

d) Dinâmica de jogo

De acordo com a tecnologia de interação os jogos podem ser de diferentes estilos, tais como jogos de pegar, alcançar e agarrar, jogos que são simulações de estratégia, ou uma combinação de vários estilos. A maioria dos jogos para fisioterapia utiliza movimentos executados na reabilitação comum para servir de entrada para diversas ações no jogo.

2.5 Discussão

Em diversos estudos, percebe-se a importância da integração dos equipamentos de *hardware* e *software* para auxiliar o tratamento de reabilitação através de jogos. De acordo com Sawyer [Sawyer 2008], a comunicação entre as interfaces de *hardware* e os *softwares* fomentou o desenvolvimento de melhores jogos para saúde. Durante a conferência *Games for Health* do ano de 2008, 25 das 40 palestras utilizaram algum tipo de *hardware* específico nas aplicações dos jogos [Sawyer 2008].

Ao escolher um tipo de dispositivo é preciso identificar quais são as características do mesmo, se o equipamento é apropriado para o tratamento e se consegue gerar informações

relevantes à terapia. Ainda assim, é possível utilizar diversas tecnologias para conseguir diferentes tipos de informações sobre o paciente durante o tratamento [Schonauer e Pintaric 2011] mas antes deve-se considerar diversos fatores: necessidades clínicas, características e limitações do paciente, além do custo e complexidade para implantação das tecnologias.

Além de possuir um dispositivo adequado ao tratamento, o sistema deve possuir funcionalidades que sejam eficientes do ponto de vista terapêutico, auxiliando na reabilitação a partir da adaptação ao paciente, monitoramento do progresso, resposta ao desempenho e possibilidade de ser realizado na clínica de tratamento ou mesmo no domicílio do paciente com o suporte de um técnico em fisioterapia ou enfermagem. Os requisitos motivacionais não devem ser descartados do sistema, pois caso não consigam motivar o paciente, pode ser mais um fator causador de desistência ou abandono do tratamento.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

Para identificar as necessidades para sistemas de reabilitação fisioterapêutica, diversos sistemas descritos por trabalhos presentes na literatura foram analisados. A partir do modelo proposto por Rego [Rego, Moreira e Reis 2010], os trabalhos foram classificados de acordo com as características identificadas. As principais funcionalidades foram selecionadas para posterior desenvolvimento. Os trabalhos foram selecionados de acordo com a utilização de sistemas baseados em jogos e do Kinect como dispositivo para captura de movimento. Sistemas comerciais não foram considerados durante as pesquisas e estão fora do escopo deste trabalho devido a falta de comprovação científica. Entretanto, o Anexo B descreve os sistemas comerciais mais relevantes.

3.1 Análise das Funcionalidades

Mesmo sendo um dispositivo lançado em 2010, diversos estudos utilizaram o Kinect para sistemas de tratamento fisioterapêutico. Dentro do conjunto de trabalhos encontrados, seis trabalhos foram selecionados para análise: Fern'ndez-Baena [Fern'ndez-Baena, Susin e Lligadas 2012], Borghese [Borghese et al. 2012], Freitas [Freitas et al. 2012], Lange [Lange et al. 2012], Yeh [Yeh et al. 2012] e Chang [Chang, Lange e Zhang 2012]).

Fern'ndez-Baena [Fern'ndez-Baena, Susin e Lligadas 2012], desenvolveu um sistema baseado em jogos para o tratamento de articulações. O sistema possibilita que o fisioterapeuta possa controlar e administrar as sessões de tratamento para seus pacientes através da análise de rotações dos ângulos capturados. Também é possível visualizar as informações

sobre os pacientes e assistir a sessões em vídeo. O jogo chamado *Rehabtimals Pro*, possui uma interface em duas dimensões e estimula o paciente na execução de movimentos através da repetição de movimentos para atingir objetivos (Figura 3.1).



Figura 3.1: Jogo *Rehabtimals Pro* para estímulo a repetição de movimentos. (Adaptado de: [FERNÁNDEZ-BAENA; SUSIN; LLIGADAS, 2012])

A precisão do Kinect para exercícios de reabilitação física também foi estudada e comparada com um dispositivo baseado em sensores ópticos. O autor observou a viabilidade para a utilização do Kinect para exercícios de fisioterapia devido a pequena taxa de erro identificada em relação ao conjunto de sensores. É possível observar na Figura 3.2 a presença do Kinect sendo utilizado para capturar a movimentação juntamente com sensores ligados ao corpo do paciente. A diferença entre as medições realizadas foi menor que 10 graus, sendo viável



Figura 3.2: Medições realizadas utilizando captura por sensores ópticos e Kinect. (Adaptado de: [FERNÁNDEZ-BAENA; SUSIN; LLIGADAS, 2012]).

a utilização do Kinect para tratamentos fisioterapêuticos [Fernández-Baena, Susin e Lligadas 2012].

Borghese [Borghese et al. 2012] desenvolveu um sistema para auxiliar exercícios para pacientes idosos que pode ser utilizado em casa. Os jogos presentes neste sistema possuem diversos cenários em três dimensões para motivar os pacientes (Figura 3.3). Os exercícios requisitados são identificados e validados durante a execução, além disso, buscam se adaptar ao desempenho e condições do paciente para modificar a dinâmica do jogo e não se tornar fácil ou difícil demais.



Figura 3.3: Jogos utilizando o Kinect para estimular movimentos em idosos. (Adaptado de: [BORGHESE et al., 2012]).

O sistema foi projetado para ser utilizado na casa do paciente, podendo ser monitorado remotamente. O monitoramento remoto é necessário, pois pode informar aos centros especializados caso ocorra problemas com o paciente. De acordo com Borghese [Borghese et al. 2012], a utilização de jogos comerciais não é ideal para um tratamento de pacientes com deficiências nos movimentos ou com idosos devido ao ritmo e velocidade que estes impõem ao jogador. Um jogo para exercícios de reabilitação deve ser configurado de forma específica para o tratamento clínico. Além disso, deve-se investir no design do jogo para que os pacientes desejem jogar mesmo que eles não sejam forçados pelo tratamento.

A abordagem utilizando o Kinect foi utilizada por Chang [Chang, Chen e Huang 2011] buscou avaliar a introdução de tais sistemas e trazer motivação e diversão durante as sessões de fisioterapia. Os jogos foram utilizados para motivar a execução de diversos movimentos comuns, utilizando ambientes interativos em diversos cenários tridimensionais para trazer entretenimento aos pacientes para superar a dor e o desconforto durante a execução dos

exercícios (Figura 3.4).



Figura 3.4: Ambientes em três dimensões respondendo à interação com o Kinect. Fonte: (CHANG et al., 2012).

Lange [Lange et al. 2012] desenvolveu um jogo simples para avaliar os elementos e dinâmica dos jogos e a aceitação do sistema em pacientes que possuem lesões na coluna espinhal. O jogo propõe que os pacientes executem diversos movimentos, modificando a angulação dos membros superiores (ombros e cotovelos) para alcançar os objetos (Figura 3.5). Os elementos presentes no jogo são configurados previamente, de acordo com o nível de habilidade dos pacientes.



Figura 3.5: Jogo para estimular a movimentação de movimentos e alcançar objetos. Fonte: (LANGE et al., 2012).

O sistema foi avaliado por terapeutas, os quais apontaram que tal jogo pode ser uma ferramenta em potencial para auxiliar a reabilitação fisioterapêutica. De acordo com Lange [Lange et al. 2012], a possibilidade de regular as configurações do jogo para diferentes pacientes foi apontada como uma das melhores funcionalidades pelos fisioterapeutas, enquanto que os pacientes relataram o desejo de maior variedade de jogos.

Yeh [Yeh et al. 2012] desenvolveu um sistema para auxiliar vítimas de AVC e busca estimular a execução dos movimentos comuns a partir da dinâmica do jogo. O jogo, chamado *Catch The Ball* detecta a movimentação do esqueleto, reagindo a partir da colisão do personagem virtual com uma bola (Figura 3.6). O sistema pode ajustar a velocidade e a dificuldade previamente a execução, durante o jogo estimula o jogador a partir de recompensa por esforço buscando evitar a tensão e depressão que podem surgir devido as condições do paciente. Após a sessão, avalia o desempenho do jogador.



Figura 3.6: Utilizando o Kinect para detectar movimentos e alcançar objetos virtuais. Fonte: (YEH et al., 2012).

De acordo com Yeh [Yeh et al. 2012], os jogos podem ajudar na recuperação de funções motoras a partir dos exercícios realizados e também podem gerar reforço psicológico e aumentar a sensação de coexistência. Os pacientes que testaram o jogo avaliaram a experiência de forma positiva, exaltando as mensagens de reforço positivo que o jogo lhes proporcionou. Além disso, os pacientes apresentam melhora na sensibilidade de equilíbrio na movimentação dos membros superiores.

No trabalho de Freitas [Freitas et al. 2012] foram desenvolvidos diferentes jogos, além de um sistema para acompanhamento médico para reabilitação física com o Kinect. Os jogos utilizam movimentos realizados em tratamentos fisioterapêuticos para controlar o personagem e o sistema de acompanhamento possibilita a definição dos movimentos a serem executados pelo paciente. Após a sessão é gerado um relatório para a equipe médica sobre a execução dos movimentos.

Os diferentes ambientes lúdicos (Figura 3.7) foram utilizados para estimular o paciente e trazer instruções para uma melhor comunicação sobre movimentos errados. Freitas [Freitas

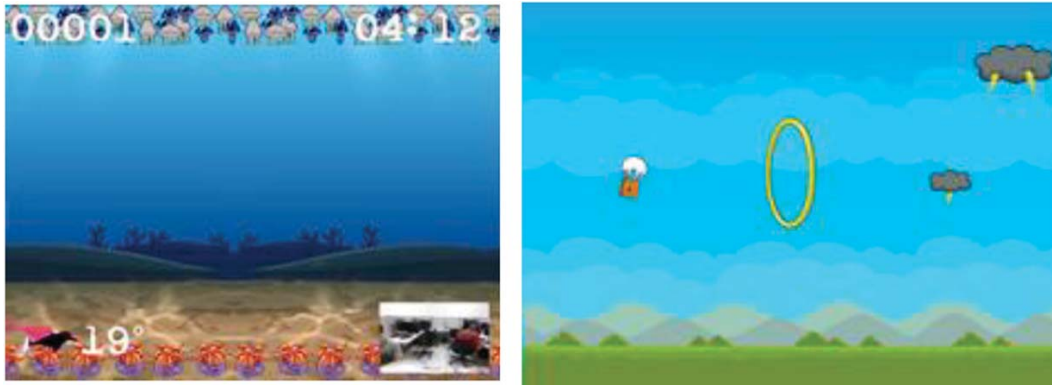


Figura 3.7: Jogos para auxiliar a reabilitação física com o auxílio de Kinect a partir de repetição de movimentos. Fonte: Freitas (FREITAS et al., 2012).

et al. 2012] também descreve a necessidade de interfaces mais amigáveis e melhor resposta aos movimentos errados dos pacientes, já que este é o objetivo central do sistema.

3.2 Discussão

A maioria dos trabalhos busca se adaptar às condições do paciente para que os exercícios possam ser executados em diferentes níveis de reabilitação. Além disso, o monitoramento dos exercícios foi apontado pelos trabalhos como funcionalidade essencial para tais sistemas, podendo ser realizado remotamente, se o sistema for executado em casa ou em um módulo para controle do fisioterapeuta.

A resposta ao desempenho é utilizada como fator motivacional aos pacientes, entretanto também deve ser utilizada para corrigir o paciente, caso o movimento seja executado de forma errônea. Tal funcionalidade está presente apenas em trabalhos que forçam a execução de exercícios de fisioterapia.

Os movimentos requisitados pelos sistemas buscam estimular diversos tipos de exercícios, alguns trabalhos estimulam movimentos realizados em atividades corriqueiras, como pegar e manipular objetos, enquanto alguns trabalhos buscam reforçar os exercícios executados em sessões de fisioterapia. É interessante que um sistema consiga utilizar as duas abordagens.

Os elementos motivacionais foram utilizados na maioria dos sistemas para gerar motivação nos pacientes, utilizando cenários em três dimensões, através de pontuações e também

da colaboração/competição. De acordo com Rego [Rego, Moreira e Reis 2010], uma possibilidade que deve ser explorada para melhorar a motivação e elementos de engajamento se encontra na inclusão de uma dimensão social. A colaboração e competição podem adicionar uma nova dimensão que poderia permitir que os pacientes possam desfrutar da interação e gerar maior motivação durante o jogo.

Uma análise objetiva das funcionalidades dos trabalhos selecionados, segundo a classificação proposta por Rego [Rego, Moreira e Reis 2010] está descrita nas Tabelas 3.1.

Tabela 3.1: Análise dos trabalhos

Trabalhos/ Requisitos	Baena <i>et. al.</i> (2012)	Borghese <i>et. al.</i> (2012)	Chang <i>et. al.</i> (2011)	Lange <i>et. al.</i> (2011)	Yeh <i>et. al.</i> (2012)	Freitas <i>et. al.</i> (2012)
Adaptável ao Paciente	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Monitorar Progresso	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim
Resposta ao Desempenho	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Portátil	Casa/ Clínica	Casa/ Clínica	Casa/ Clínica	Clínica	Casa/ Clínica	Casa/ Clínica
Interface de jogo	2D	2D e 3D	3D	3D	3D	2D
Nº de jogadores	Um	Um	Um	Um	Um	Um
Competitivo/ Colaborativo	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
Estilo de jogo	Mov. específico	Alcançar Objetos	Mov. específico	Alcançar Objetos	Alcançar Objetos	Mov. específico

Capítulo 4

Desenvolvimento do Sistema

Neste capítulo do trabalho está descrito o desenvolvimento de um sistema que utiliza o Kinect como dispositivo de interface natural para a captura de movimentos. O sistema inclui jogos digitais para estimular a execução de exercícios fisioterapêuticos, a configuração e acompanhamento remoto do paciente através da rede, além de diversas funcionalidades observadas pelos estudos investigados. Tal sistema foi experimentado e avaliado por fisioterapeutas através de um questionário para que se possa identificar qual das funcionalidades identificadas nos estudos e desenvolvidas são as mais relevantes para o tratamento remoto utilizando jogos digitais.

Dois jogos foram desenvolvidos buscando alcançar características diferentes para um tratamento fisioterapêutico. A observação dos estudos considerados durante a pesquisa mostrou que alguns trabalhos buscam explorar movimentos repetidos e controlar a angulação dos movimentos, enquanto outros buscam estimular movimentos cotidianos como agarrar e alcançar. No primeiro jogo desenvolvido, o módulo do paciente é composto por um jogo que interage com o paciente, solicitando a repetição de movimentos específicos para reabilitação fisioterapêutica. Diversos parâmetros podem ser definidos pelo fisioterapeuta, configurados e transmitidos remotamente para o módulo do paciente.

Em um segundo jogo, buscou-se estimular movimentos livres do paciente, para que o mesmo alcance amplitudes em diversos planos, simulando situações do mundo real. O jogo também permite que dois jogadores interajam entre si através da rede, motivando a prática e a competição. Os resultados em forma de relatório retornam para análise do fisioterapeuta, juntamente com as pontuações do jogo, que podem ser comparadas com outros pacientes,

buscando estimular a prática contínua.

4.1 Descrição do Sistema

O sistema desenvolvido é composto por três módulos, o módulo do paciente, o módulo do fisioterapeuta e um módulo servidor. O módulo do paciente é composto por dois jogos que utilizam o Kinect para capturar os movimentos dos membros superiores para utilizar como entrada para a execução de diversas ações no jogo. A forma de interação e objetivos do jogo são configurados pelo fisioterapeuta, utilizando o módulo do fisioterapeuta e enviando as definições da terapia através de rede para o servidor. A configuração definida pelo fisioterapeuta e os resultados da utilização do jogo pelo paciente ficam armazenados no servidor, em um banco de dados.

Na Figura 4.1 é ilustrada a comunicação entre os diferentes módulos. O fisioterapeuta pode definir qual dos jogos o paciente deverá utilizar em sua terapia, se deve seguir um tratamento baseado em repetição de movimentos ou buscar exercitar movimentos amplos e em vários planos. O paciente, ao abrir o seu módulo, irá receber através da rede as definições de seu tratamento, e após a execução dos jogos será enviado um relatório para que o fisioterapeuta possa registrar e acompanhar remotamente a evolução dos exercícios. O módulo servidor gerencia esta comunicação com os módulos cliente e servidor, armazenando as informações em um banco de dados.

Figura 4.1: Comunicação entre os módulos no sistema desenvolvido.



4.1.1 Módulo do Paciente

O módulo do paciente é composto por dois jogos controlados por movimentos do paciente, um deles deve ser utilizado para a repetição de exercícios estipulados pelo fisioterapeuta e o segundo jogo é para estimular a movimentação livre do paciente em vários graus de liberdade. O jogo recebe através da rede ou de um arquivo de configuração local os parâmetros para o exercício que deverá ser executado.

Para o jogo de movimentos específicos, além da articulação definida pelo fisioterapeuta, o ângulo máximo e mínimo, o lado do corpo e o tempo podem ser definidos. Durante o jogo, o sistema pode corrigir a postura do paciente, alertando movimentos errados ou falha na postura. Quando isto acontece o jogo fica em modo de pausa para que a postura correta de trabalho seja corrigida.

À medida que o jogo inicia e os movimentos são executados, o paciente receberá incentivos visuais e auditivos a partir de pontuações e recompensas no jogo. Na Figura 4.2 é ilustrado o jogo sendo controlado pelo movimento de abdução e adução do ombro no plano coronal. Após a execução do exercício, a gravação da sessão e as informações sobre o exercício são enviadas para o servidor para que o fisioterapeuta possa manter o registro e verificar a execução dos exercícios, a amplitude dos movimentos e as dificuldades do paciente.



Figura 4.2: Jogo para repetição de movimentos, configurado para o movimento de abdução e adução horizontal do ombro no plano coronal.

O segundo jogo desenvolvido possibilita que o paciente exercite a movimentação livre das articulações, exigindo que os membros superiores executem movimentos em diversos planos anatômicos durante um período de tempo estabelecido pelo fisioterapeuta em grau de

velocidade estática ou variável. Este jogo permite que um jogador realize os exercícios e jogue contra o um adversário virtual no jogo ou dois jogadores joguem entre si utilizando a rede (Figura 4.3).



Figura 4.3: Jogo para a execução de movimentos amplos - Menu principal do jogo

4.1.2 Módulo do Fisioterapeuta

O módulo do fisioterapeuta permite a definição da configuração dos jogos para o paciente através de diversos parâmetros. É possível definir qual dos jogos o paciente deverá executar, qual o tempo máximo para o exercício, o movimento e o ângulo para a articulação que devem ser alcançados para interagir e acionar eventos no jogo (ângulo de trabalho). É possível definir também o lado de trabalho (direito ou esquerdo) e qual o plano de movimentação será utilizado (sagital, coronal ou transversal). O módulo do fisioterapeuta está ilustrado na Figura 4.4.

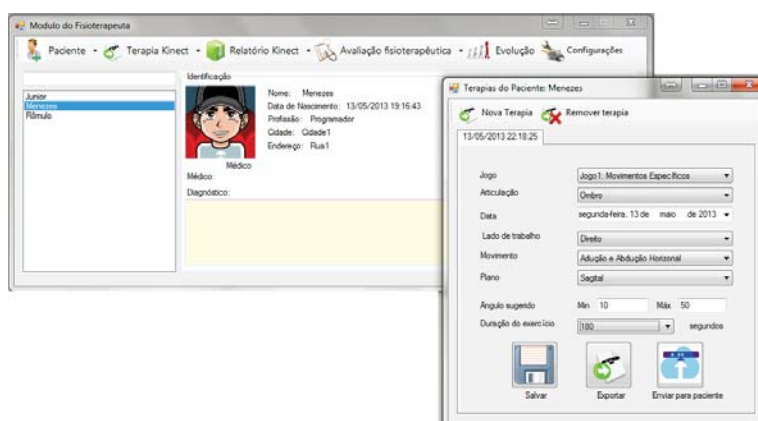


Figura 4.4: Módulo do fisioterapeuta e a janela para configuração de exercícios.

Para o jogo de movimentos específicos é possível definir até 10 movimentos diferentes,

todos identificados pelo jogo, e que irão controlar a movimentação no jogo. A lista dos exercícios que podem ser configurados está descrita a seguir:

- Abdução e Adução Vertical do Ombro (Esquerdo e Direito) no Plano Coronal
- Abdução e Adução Vertical do Ombro (Esquerdo e Direito) no Plano Sagital
- Flexão e Extensão Horizontal do Ombro (Esquerdo e Direito) no Plano Transversal
- Rotação do Ombro (Esquerdo e Direito) no Plano Transversal
- Flexão e Extensão Vertical do Cotovelo (Esquerdo e Direito) no Plano Coronal

Em cada sessão é registrado o relatório de uso com os ângulos alcançados pelo paciente, pausas durante o jogo e os movimentos feitos corretamente, que são reflexo da interação e pontuação do paciente com o jogo (Figura 4.5). Também é possível visualizar a evolução do paciente a partir dos dados e de um mapa de cor gerado a partir dos movimentos do paciente. O monitoramento do progresso por mapa de cor mapeia as mãos do jogador e traça a amplitude alcançada durante a sessão. Além dos dados é possível rever o vídeo da execução do exercício, que foi gravado com a câmera presente no Kinect.

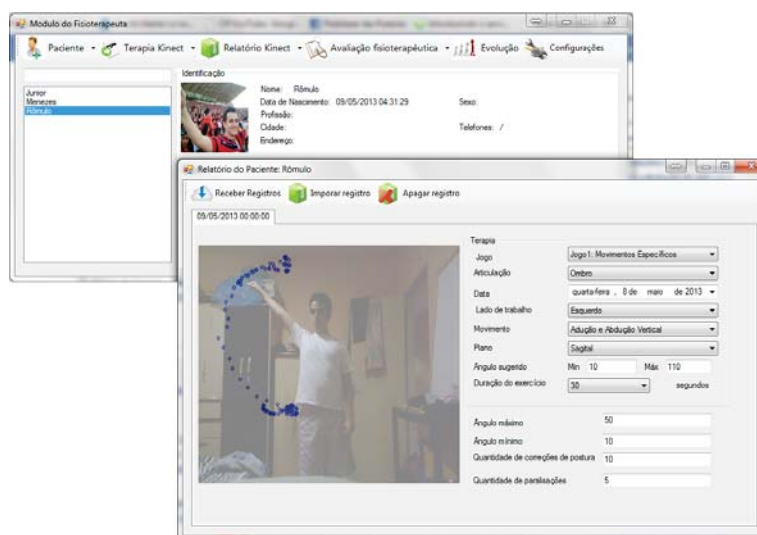


Figura 4.5: Janela do módulo do fisioterapeuta para revisão do relatório.

O módulo do fisioterapeuta também possui uma ferramenta que deve ser utilizada anteriormente à prescrição da terapia para o paciente. A ferramenta foi desenvolvida especificamente para calcular os ângulos das articulações pelo Kinect, semelhante ao funcionamento

do goniômetro (Figura 4.6). Tal ferramenta permite mensurar os ângulos dos movimentos realizados pelo paciente no mesmo padrão que os jogos calculam.

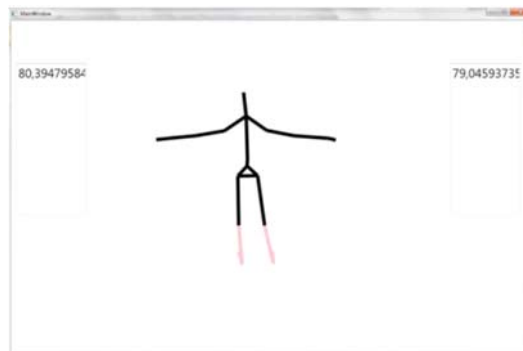


Figura 4.6: Calculando a angulação do movimento de abdução e adução do ombro no plano coronal.

4.1.3 Módulo Servidor

O módulo servidor fica em execução em uma máquina ligada a rede, esperando a conexão de um dos módulos clientes (paciente ou fisioterapeuta). Quando um dos módulos estabelece a conexão é utilizado um protocolo de comunicação simples, onde o tipo de requisição é definido e resultando na transmissão da terapia ou do relatório. A Figura 4.7 ilustra a janela do servidor e informações sobre as conexões e comunicações realizadas.

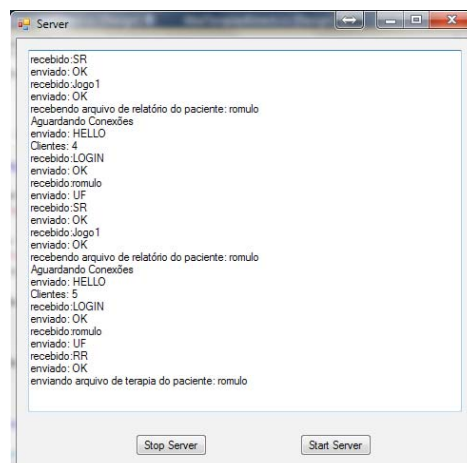


Figura 4.7: Módulo servidor em execução

4.2 Desenvolvimento e Arquitetura dos Jogos (Módulo do Paciente)

Para o desenvolvimento do jogo para movimentos especificados pelo fisioterapeuta, foi utilizado o motor de jogos XNA no ambiente de desenvolvimento Visual Studio (VS), juntamente com o pacote de desenvolvimento para Kinect. Para o jogo de movimentos variados foi utilizado o motor de jogos *Unity3D* e o pacote de integração com Kinect, que utiliza a biblioteca anteriormente citada.

4.2.1 *Game Loop*

Para o desenvolvimento de jogos pode ser necessário escrever um *game loop* ou compreender como funciona o *game loop* do motor de jogos que é utilizado. O *game loop* é o laço principal do jogo que se repete durante a execução do jogo realizando chamadas à diferentes funções do jogo. Dentro deste laço são feitas chamadas para desenhar os elementos do jogo, controlar a lógica de cada componente, atualização da contagem dos pontos, inteligência artificial e do jogo em si.

Ao utilizar um motor de jogo já existe uma arquitetura para o *game loop* e métodos específicos que devem ser sobrescritos para controlar os estados dos elementos do próprio jogo. A ordem das chamadas para atualizar cada elemento adicionado ao jogo é feita pelo motor de jogo, o que minimiza o tempo e complexidade de desenvolvimento. Nos motores de jogo podem existir diversos métodos que são chamados no decorrer do tempo e em sequência, como por exemplo, métodos para inicialização dos componentes que estão inseridos no jogo, métodos para atualização automática do estado, para ordem de desenho na tela ou para a manipulação eventos como colisão.

4.2.2 Jogo para Movimentos Específicos

O projeto do primeiro jogo, para movimentos específicos, inicia a partir da classe *AirplaneGame*, que é a principal do projeto. Esta agrega os componentes importantes do jogo, possui a referência do dispositivo gráfico e do dispositivo de entrada utilizado (Kinect), além do gerenciador de configuração do jogo e do controle sobre a dinâmica e interação. Nesta

classe os elementos mostrados na tela são instanciados, trocam mensagens e realizam o teste de colisão. É possível observar na Figura 4.8 o diagrama de classes no projeto do jogo para movimentos específicos.

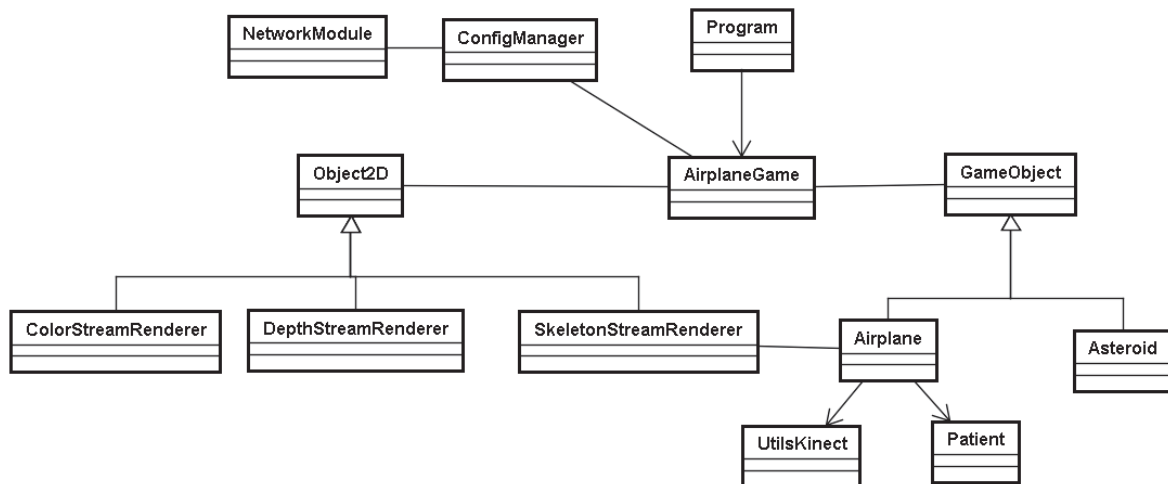


Figura 4.8: Diagrama de classe do jogo para movimentos específicos

No trecho de código simplificado (Código 4.1) é possível observar a inicialização dos componentes do jogo através do método *Initialize*, onde as imagens e profundidade capturadas pelo Kinect são adicionadas ao jogo, assim como as referencias aos componentes de jogabilidade. Também está descrito de forma simplificada o método *Update*, que atualiza as informações na tela e constantemente checa a colisão entre dois componentes do jogo. O método *Update* de cada componente ligado à classe *AirplaneGame* é responsável pela atualização do próprio estado e posição no jogo.

Código Fonte 4.1: Método Update da classe

```

1 // Inicializa os componentes
2 protected override void Initialize(){
3     this.Components.Add(this.depthStream);
4     this.Components.Add(this.colorStream);
5     this.Components.Add(this.airplane);
6     this.Components.Add(this.stone);
7     base.Initialize();
8 }
9 protected override void Update(GameTime gameTime){
10     // Imprimir informacao do angulo na tela
11     displayInfo();
12     //Checar colisao

```

```

13     collisionTest();
14     //Atualizar pontuacao
15     updateScore();
16     base.Update(gameTime);
17 }

```

Os elementos de *ColorStreamRerender*, *DepthStreamRerender* e *SkeletonStreamRerender* são utilizados para realizar a comunicação com os sensores do Kinect, ativando o fluxo de cor, profundidade e o motor para reconhecimento de corpo humano. Tais elementos são utilizados para mostrar a imagem do jogador na tela do jogo e para realizar a detecção de movimento, que servirá como entrada para o elemento *Airplane*.

A classe *Airplane* e a é responsável por controlar a captura de movimentação e o personagem no jogo. A *Stone* é responsável por estimular a dinâmica do jogo, devendo o jogador sempre evitar colidir com os objetos desta classe com seus movimentos.

a) Capturando Movimentos

A classe *Airplane* utiliza os dados do corpo humano capturados pelo Kinect para controlar a movimentação do personagem no jogo. O componente responsável por se comunicar com o dispositivo de entrada, o Kinect, e capturar o esqueleto humano é o *SkeletonStreamRerender*, retornando um objeto que representa o esqueleto humano em 21 articulações, ilustradas na Figura 4.9

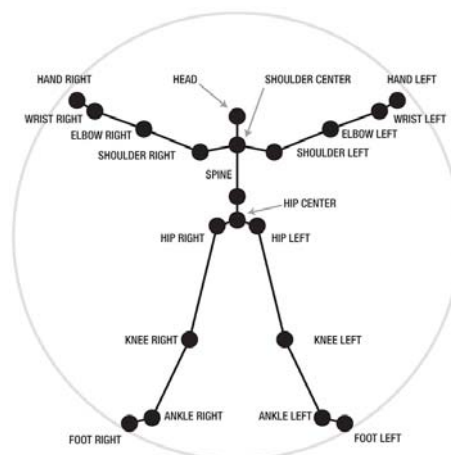


Figura 4.9: Ilustração das articulações captadas pelo Kinect. Fonte: (WEBB; ASHLEY, 2011).

Para se comunicar com o dispositivo, é necessário informar ao sensor que o fluxo de dados deve ser inicializado. O trecho de código descrito no Código 4.2 é utilizado pela classe *SkeletonStreamRerender* para capturar o objeto do tipo *Skeleton*. Estes dados, assim como os dados de imagem e profundidade, são obtidos através de um fluxo de dados constante que é capturado a cada novo quadro.

Código Fonte 4.2: Método Update da classe *SkeletonStream*.

```

1  using (var skeletonFrame = this.Chooser.Sensor.SkeletonStream.OpenNextFrame(0))
2  {
3      // Algumas vezes o frame vem nulo
4      if (null == skeletonFrame)
5      {
6          return;
7      }
8      if (null == skeletonData || skeletonData.Length != skeletonFrame.SkeletonArrayLength)
9      {
10         skeletonData = new Skeleton[skeletonFrame.SkeletonArrayLength];
11     }
12     skeletonFrame.CopySkeletonDataTo(skeletonData);
13     skeletonDrawn = false;
14 }

```

Os objetos que podem ser acessados a partir da identificação do esqueleto humano identificado no *SkeletonStream* estão ilustrados na Figura 4.10. Com estes dados é possível saber a posição de cada articulação que representa o jogador nos planos X, Y e Z.

b) Posição do Corpo e o Cálculo dos Ângulos entre as Articulações

É possível detectar diferentes posições de um corpo com o Kinect através de diversas relações entre as articulações. Diferentemente de gestos, que possuem ações de articulações e movimentos em um período de tempo, a detecção de uma pose ou posição utiliza um corpo que está inerte [Webb e Ashley 2011]. Por exemplo, durante um determinado momento que é necessário detectar uma posição simples, como levantar as mãos, deve-se verificar a relação entre a articulação que representa a mão e sua posição relativa no eixo vertical à articulação da cabeça.

Supondo uma postura em que o utilizador estende seus braços, afastando-os do corpo, na altura dos ombros, formando a posição de uma cruz. É possível detectar esta posição

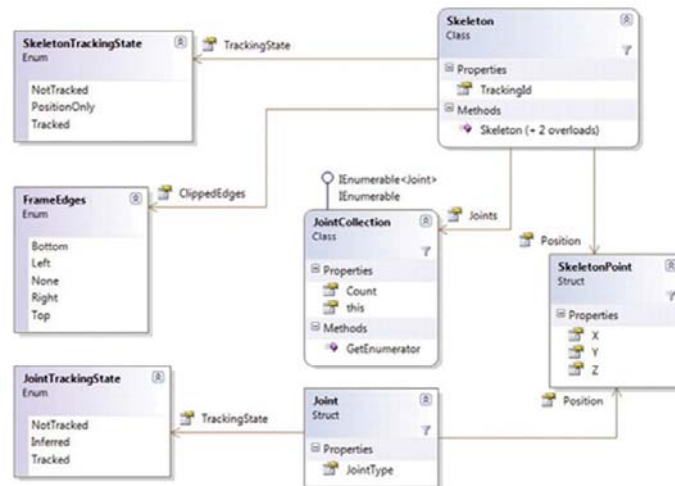


Figura 4.10: Modelo de objetos do esqueleto captado pelo Kinect. Fonte: (WEBB; ASHLEY, 2011).

utilizando apenas o eixo vertical para as articulações da mão, cotovelo e ombro. Outras técnicas que podem ser utilizadas para detectar posições são a intersecção da posição das articulações e pelo cálculo do ângulo entre duas articulações adjacentes.

A identificação das posições pode ser feita a partir do cálculo do ângulo entre diferentes articulações do corpo. O Kinect, através da detecção do esqueleto disponível no pacote de desenvolvimento, permite a manipulação de até vinte pontos diferentes do corpo humano. Para calcular o ângulo entre quaisquer dois dos pontos, é feita uma triangulação, estendendo-se um terceiro ponto para formar um triângulo, e para saber o ângulo entre duas articulações é utilizada a lei dos cossenos. A lei dos cossenos para o triângulo ilustrado na Figura 4.11 é dada pela equação 4.1. Isolando o ângulo na equação, é possível encontrar o ângulo pela equação 4.2

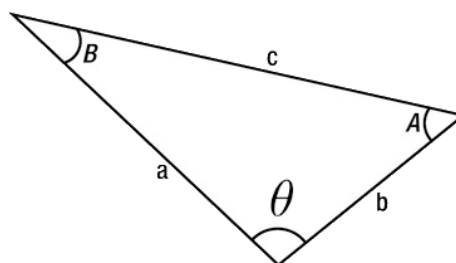


Figura 4.11: Lei dos Cossenos.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta \quad (4.1)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}\right) \quad (4.2)$$

Para a utilização com duas articulações detectadas pelo Kinect, o terceiro ponto do triângulo é um ponto arbitrário, estendido no plano que se deseja mensurar o ângulo. É possível utilizar diferentes planos para realizar o cálculo do ângulo. No Código 4.3 a função em destaque retorna o ângulo entre duas articulações, que devem ser adjacentes, no plano coronal.

Código Fonte 4.3: Função da classe UtilsKinect para calcular o ângulo entre duas articulações no plano coronal

```

1  class UtilsKinect{
2      public static double GetJointAngleCoronal(Joint zeroJoint, Joint angleJoint) {
3          double xx = zeroJoint.Position.X + angleJoint.Position.X;
4          double xy = zeroJoint.Position.Y;
5          double a,b,c;
6
7          a = Math.Sqrt(Math.Pow(zeroJoint.Position.X - angleJoint.Position.X,2) + Math.
            Pow(zeroJoint.Position.Y - angleJoint.Position.Y, 2));
8          b = angleJoint.Position.X;
9          c = Math.Sqrt(Math.Pow(angleJoint.Position.X - xx, 2) + Math.Pow(angleJoint.
            Position.Y - xy, 2));
10         double angleRad = Math.Acos((a * a + b * b - c * c) / (2 * a * b));
11         double angleDeg = angleRad * 180 / Math.PI;
12
13         if (zeroJoint.Position.Y < angleJoint.Position.Y) {
14             angleDeg = 360 - angleDeg;
15         }
16         return angleDeg;
17     }

```

Os dados do esqueleto humano provenientes do Kinect podem apresentar um grau de erro devido à natureza de captura do dispositivo, já que é uma tecnologia não invasiva e que calcula as posições a partir do processamento das imagens e dados do sensor de profundidade. A posição de uma articulação pode apresentar uma pequena variação, assim, o cálculo do ângulo entre duas articulações também pode apresentar variação, como foi identificado por Fernandez’Baena [Fern’ndez-Baena, Susin e Lligadas 2012].

c) Monitorar Posição e Coluna

Durante o exercício o sistema deve guiar o paciente a executar os movimentos da forma correta, a partir da repetição do movimento especificado no intervalo de tempo e na angulação definida. Além disso, é necessário observar e registrar caso o paciente efetue algum exercício de forma incorreta. Um exemplo de execução de exercício na forma errada acontece quando o paciente não alcança ou mesmo ultrapassa a angulação definida pelo fisioterapeuta.

Além de seguir os exercícios nos ângulos definidos, o paciente deverá manter a postura ereta durante a sessão. Tal postura poderá ser ajustada com o auxílio de um profissional e também é detectada e informada ao paciente pelo sistema. O Código 4.4 descreve a função responsável por tal verificação. Caso o paciente realize alguma inclinação para os lados, ocasionará na execução errada do movimento e será registrada no arquivo de relatório para o fisioterapeuta, além de ser informada na tela do jogo.

Código Fonte 4.4: Função que monitora o posicionamento e se há desvio na coluna

```
1 private bool MonitorarPosicaoColuna() {  
2     double hip = skeletonStream.mySkeleton.Joints[JointType.HipCenter].Position.X;  
3     double spined = skeletonStream.mySkeleton.Joints[JointType.Spine].Position.X;  
4     double shouder = skeletonStream.mySkeleton.Joints[JointType.ShoulderCenter].  
        Position.X;  
5     if (Math.Abs(hip - spined) > 0.02 || Math.Abs(spined - hip) > 0.02 ||  
6         Math.Abs(hip - shouder) > 0.02 || Math.Abs(shouder - hip) > 0.02 ||  
7         Math.Abs(spined - shouder) > 0.02 || Math.Abs(shouder - spined) > 0.02)  
8     {  
9         estadoDaColuna = "Coluna com desvio";  
10        return true;  
11    }  
12    else {  
13        estadoDaColuna = "Coluna normal";  
14        return false;  
15    }  
16 }
```

4.2.3 Jogo para Movimentos Variados

O jogo para movimentos variados foi desenvolvido utilizando o motor de jogos Unity3D (Figura 4.12). Com este motor de jogo também é possível captar informações provenientes do Kinect através do *wrapper* [Wiki 2012] para integração com o Kinect, que utiliza as

bibliotecas criadas pela Microsoft.

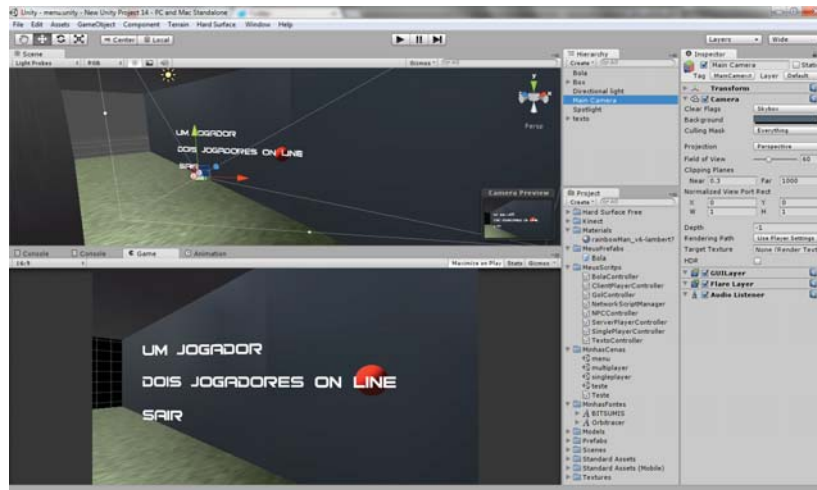


Figura 4.12: Tela inicial do Jogo para movimentos amplos

O jogo pode ser configurado remotamente ou localmente para se adequar ao paciente e, após a partida, os resultados do jogo e o relatório de utilização são enviados ao módulo servidor, para posterior acesso pelo fisioterapeuta. A cada partida a pontuação pode ser visualizadas pelo jogador, para motivar a execução e estimular a continuação da terapia para os pacientes.

O jogo é dividido em três cenas: A cena inicial do jogo permite que o jogador escolha qual dos modos de jogo, se irá jogar contra o próprio jogo ou contra uma outra pessoa via da rede. Para este caso, o segundo jogador irá utilizar o teclado para controlar o movimento do outro jogador. A organização baseada em cenas é um dos elementos estruturais para os jogos construídos no Unity3D. Cada cena pode conter diversos componentes controlados por meio de *scripts*.

a) Dinâmica do Jogo

Foi utilizada a dinâmica existente no jogo 3DPong (Figura 4.13), em que o jogador deve controlar o movimento de uma raquete com uma das mãos para evitar que a bola ultrapasse sua defesa.

A dinâmica do jogo é baseada em colisões da bola com raquetes e as paredes. É necessário que o comportamento da bola seja semelhante ao real, simulando a colisão, velocidade e efeitos na bola. Utilizar um motor de jogo é fundamental para o desenvolvimento, pois



Figura 4.13: Jogo 3D Pong que serviu de inspiração para o segundo jogo criado.

retira a necessidade de implementar funcionalidades básicas que são comuns em diferentes projetos. O motor de jogo Unity3D permite um componente de reação física e colisão aos elementos do jogo, deixando a responsabilidade para calcular a simulação da física e colisões para o próprio motor, sem que haja necessidade de escrever tais condições.

Dois dos componentes mais relevantes utilizados na construção do jogo foram o *Rigidbody* e o *NetworkView*. O *Rigidbody* permite que o elemento do jogo reaja ao motor que controla os efeitos e dinâmica física do jogo, simulando a realidade. O *NetworkView* possibilita a sincronização dos objetos através da rede. Os elementos sincronizados foram as *Transform* da bola e das raquetes, possibilitando que a posição, rotação e escala destes componentes se mantivessem sincronizados através da rede.

Ao escolher a opção de um único jogador, o jogo irá iniciar (Figura 4.14) e solicitar que paciente movimente um dos membros superiores, podendo ser o braço direito ou esquerdo, para controlar uma das raquetes. De acordo com a dinâmica do jogo, o paciente deverá evitar que a bola passe de sua raquete, o que resulta em pontuação negativa. Quando a bola é lançada pelo paciente, uma outra raquete controlada pelo jogo tentará evitar o gol do jogador, caso não consiga, resultará em pontuação positiva.

A velocidade da raquete controlada pelo jogo é dinamicamente modificada, de acordo com a pontuação alcançada no jogo. O Código 4.5 ilustra como é feita a movimentação do NPC (*Non Player Character*), que utiliza uma função que realiza a interpolação entre a posição antiga da raquete e a posição da bola, fazendo com que a raquete siga a movimentação da bola em uma velocidade dinâmica, dependente do nível de dificuldade.

Código Fonte 4.5: Movimentação do NPC no jogo

```
1 float posicaoZ = 18f;
```

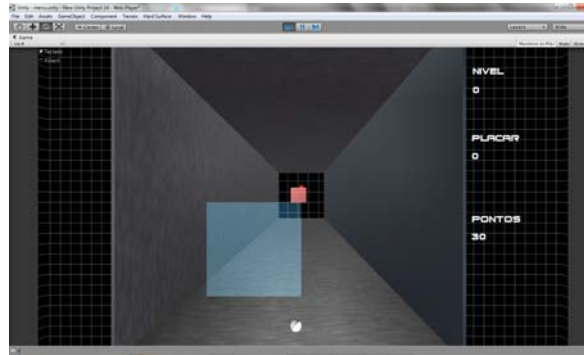


Figura 4.14: Cena do jogo no modo de um jogador.

```

2 void Update () {
3     posicao = Vector3.Lerp(transform.position , bola.transform.position , velocidade[
        dificuldade]);
4     transform.position = new Vector3(posicao.x, posicao.y, posicaoZ);
5 }

```

A API do Unity3D fornece um grande número de classes que dão suporte aos *scripts*, com diversas funcionalidades úteis ao desenvolvimento de jogos. É possível realizar a manipulação de elementos em três dimensões, a manipulação de sons, cálculos matemáticos relacionados à física, colisões entre elementos, elementos de interface gráfica para o usuário e comunicação em redes de computadores. A classe *Vector3* que faz parte da API do Unity3D está presente no Código 4.6, que ilustra a movimentação da bola conforme a colisão com qualquer uma das raquetes.

Código Fonte 4.6: Movimentação e interação da bola com os jogadores

```

1 void OnCollisionEnter( Collision colisao) {
2     GameObject go = colisao.collider.gameObject;
3     if (go.name == "Jogador1"){
4         sentido = 1;
5     }
6     else if (go.name == "Jogador2") {
7         sentido = -1;
8     }
9     rigidbody.velocity = new Vector3(rigidbody.velocity.x, rigidbody.velocity.y,
        velocidade * sentido);
10 }

```

A movimentação da bola está controlada por este código e pelo motor de simulação física do Unity3D. Assim, não há a necessidade de calcular a física do movimento e simulação das

colisões. O próprio motor de jogos se encarrega de calcular a posição e direção da bola a cada colisão.

b) Dois Jogadores

Ao escolher o modo dois jogadores, o jogador poderá iniciar o jogo em modo de servidor ou buscar servidores disponíveis na internet. Um mesmo computador pode ser utilizado para executar os dois modos, cliente e servidor, e assim iniciar uma partida. O jogo pode ser iniciado quando dois jogadores estiverem conectados e controlando as raquetes através dos movimentos capturados pelo Kinect ou através do teclado. Na Figura 4.15 está ilustrado dois jogos sendo executados no modo para dois jogadores.

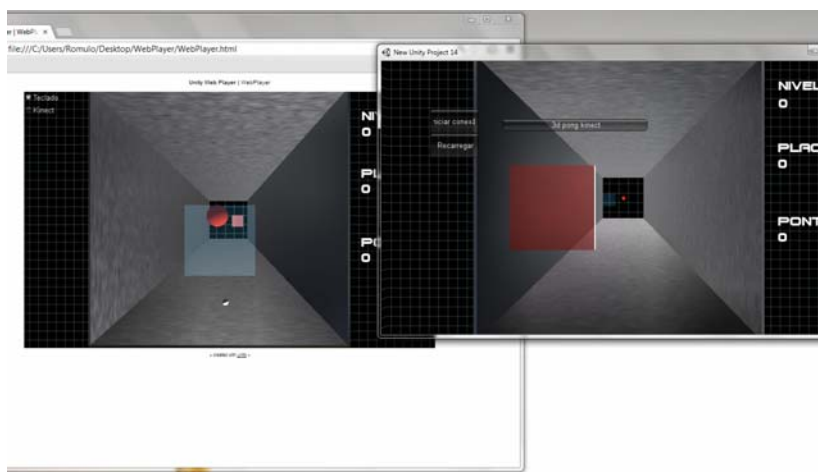


Figura 4.15: Cena do jogo no modo para dois jogadores.

É possível registrar um jogo na internet utilizando o Unity3D ao utilizar o *Master Server*. Tal funcionalidade disponível no Unity3D permite que os jogos em rede possam registrar um jogo com o nome e o tipo de jogo para que seja acessado na internet por um outro jogador que tenha tais informações. Ao utilizar o Unity3D para gerenciar a conexão de rede é possível utilizar dois tipos de configurações: utilizar um servidor não autoritário ou um autoritário.

Nos servidores não autoritários os clientes controlam a entrada, a lógica e os estados dos jogos, sendo função do servidor apenas sincronizar o estado de todos os jogadores. O lado do servidor fica menos sobrecarregado, pois lida com funções mais simples, deixando cada cliente responsável por controlar as próprias regras do jogo. Um servidor autoritário recebe as entradas provenientes dos clientes e realiza as atualizações dos componentes, tais

como regras lógicas e simulações físicas, informando o novo estado para os clientes. Há uma camada que separa o que o jogador quer fazer e o que realmente acontece, isso permite que o servidor receba as solicitações de cada cliente antes de decidir como atualizar o estado do jogo.

O servidor autoritário é útil para situações onde existem cálculos físicos, evitando simulações concorrentes sendo executadas de modos diferentes. Algumas das desvantagens da utilização de um servidor autoritário é o tempo gasto durante a troca de mensagens entre os jogadores e o servidor, este tempo pode resultar em espera no lado do jogador. Tal técnica também sobrecarrega o servidor, pois este deve lidar com as mudanças de estados, simulações e cálculos do jogo.

A comunicação com o Unity3D por meio da rede pode ser feita de duas maneiras: através da chamada de procedimentos remotos (RPC - *Remote Procedure Calls*) e por sincronização de estados. O RPC é utilizado pelos clientes para estes possam invocar funções pela rede e realizem mudanças de estados no servidor. A sincronização de estado é utilizada pelo servidor para que todos os clientes mantenham sincronia de estado de um elemento com o servidor.

A sincronização de estado é utilizada para compartilhar informações que estão sendo modificados constantemente, como por exemplo a mudança na posição da bola que deve ser informada para os outros jogadores na rede. Desta forma, o servidor controla de maneira autoritária as simulações físicas com os elementos de jogo, enviando as respostas ao cliente. A atualização constante da bola, controlada pelo lado servidor, é um exemplo de sincronização constante da posição e física no jogo, ilustrada na Figura 4.16.

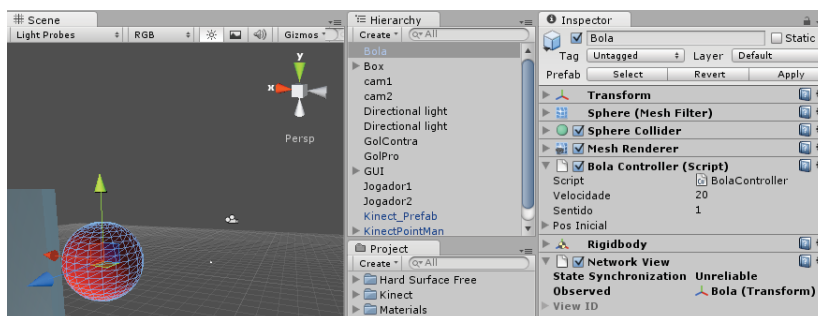


Figura 4.16: bolaNetworkview

O RPC foi utilizado para realizar a atualização da posição do cliente no servidor. Desta

forma, o servidor poderá realizar mudança de estado no jogo. O Código 4.7 descreve a função que controla a raquete do cliente por meio do teclado. Na linha 6 está descrita a função que invoca a atualização da posição no servidor.

Código Fonte 4.7: Movimentação e interação da bola com os jogadores

```
1 void getMovimentosTeclado()
2 {
3     posicao += new Vector3(Input.GetAxis("Horizontal") * -0.3f, Input.GetAxis("Vertical") * 0.3f);
4     transform.position = new Vector3(posicao.x, posicao.y, posicao.z);
5     Debug.Log("enviando RCP");
6     networkView.RPC("UpdateJogador", RPCMode.AllBuffered, transform.position);
7 }
```

4.2.4 Configuração Remota

O módulo do cliente e o módulo do fisioterapeuta se comunicam com um servidor, que agrega as informações inseridas pelo fisioterapeuta, as terapias, e o resultado por meio de um relatório. A comunicação dos módulos clientes é feita com o servidor via protocolo de aplicação implementado no *ModuloDeRede*, possibilitando uma rápida configuração do jogo ou a revisão da terapia no módulo do fisioterapeuta através de um relatório gerado no módulo do paciente.

a) Protocolo de Comunicação

De acordo com Kurose [Kurose e Ross 2009], uma aplicação de rede consiste em pares de processos que trocam mensagens entre si por meio de uma rede, onde o processo que inicia a comunicação é denominado cliente e o processo que espera ser contatado para iniciar a sessão é chamado de servidor. Para que o módulo do paciente ou o módulo do servidor possam ter os dados mais atuais do tratamento é necessário que haja um servidor intermediando a comunicação entre estes dois módulos.

Desta forma, os módulos do paciente e do fisioterapeuta trocam mensagens com o servidor, possibilitando que os dados de terapia e relatório possam ser distribuídos pela última atualização. O servidor faz a intermediação desta comunicação a partir de um protocolo de comunicação e envia ou recebe o arquivo de relatório ou terapia dos módulos clientes.

Inicialmente, o paciente ao iniciar o seu módulo, jogo de movimentos específicos ou de movimentos variados, entra em contato com o servidor e inicia a comunicação a partir de uma autenticação. Logo após, o módulo recebe a última terapia cadastrada no sistema e configura os parâmetros do jogo de acordo com o especificado pelo fisioterapeuta.

A Figura 4.17 ilustra os passos da comunicação entre o módulo do paciente e o servidor para o módulo do paciente, onde dois casos estão ilustrados. A Figura 4.17a ilustra a requisição do módulo paciente para obter o arquivo de relatório, onde envia o nome do usuário, tipo de jogo e recebe o arquivo de configuração. A Figura 4.17b ilustra o envio do arquivo de relatório ao módulo servidor.

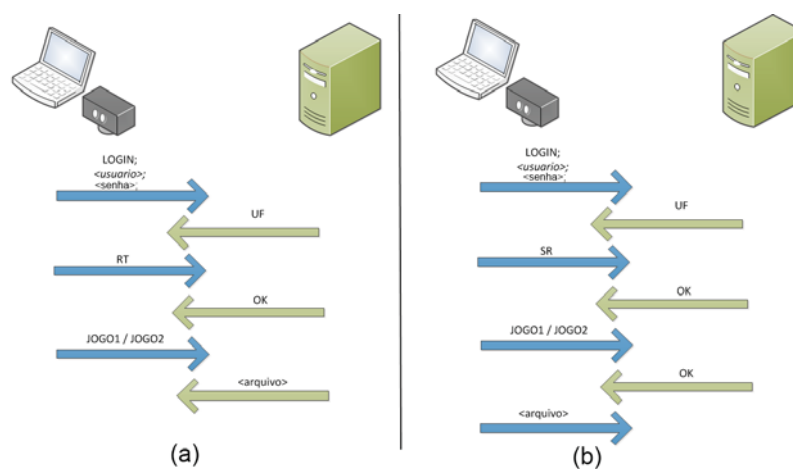


Figura 4.17: Comunicação Cliente (Paciente)/Servidor

A sequência de comunicação ilustrada na Figura (4.17a) demonstra a conexão do módulo do paciente com o servidor. Inicialmente, após estabelecer a conexão, o cliente tenta se autenticar, enviando o nome do usuário e senha. Após isso, envia um comando para requisitar a última terapia (RT) e especifica qual dos jogos ele possui. Ao final, o servidor envia um arquivo que contém a terapia especificada pelo terapeuta.

A sequência de comunicação ilustrada na Figura (4.17b) demonstra o envio do relatório do módulo do paciente ao servidor. Após a realização da conexão e autenticação, o cliente envia um comando que informa que irá enviar um relatório (RT). Ao final, o servidor recebe um arquivo que contém o relatório e a terapia que havia sido especificada pelo terapeuta.

A comunicação do módulo do fisioterapeuta com o servidor está ilustrada na Figura 4.18, onde no primeiro caso (4.18a) o fisioterapeuta após criar uma terapia com os parâmetros do sistema envia para o servidor armazenar até que o módulo do paciente faça a requisição.

O segundo caso (4.18b) ilustra o recebimento do relatório de utilização do paciente após a execução do jogo de acordo com os exercícios.

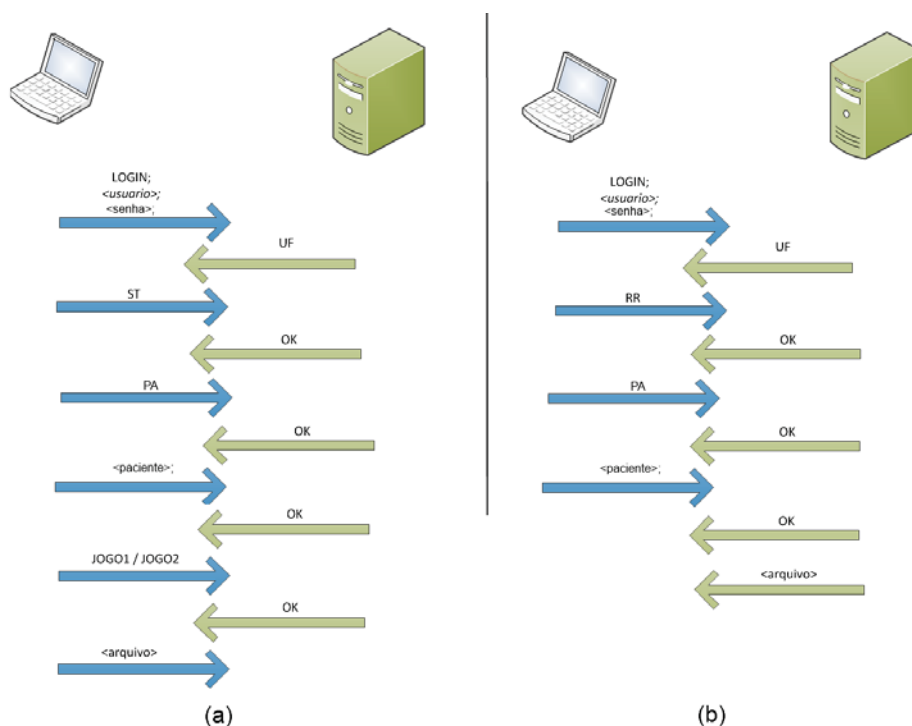


Figura 4.18: Comunicação Cliente (Fisioterapeuta)/Servidor

Todos os comandos que são transmitidos na comunicação entre o cliente e o servidor estão descritos na Tabela 4.1, com a respectiva descrição e agente que o transmite.

b) Arquivo de Configuração

O arquivo de configuração utilizado na transmissão pode conter informações sobre a terapia passada pelo fisioterapeuta ou sobre o relatório do paciente e a fisioterapia que havia sido prescrita. Os dados contidos em um arquivo de terapia são criados pelo módulo do fisioterapeuta ou pelo módulo do paciente, que gera um arquivo de relatório e terapia. Os dados que são armazenados no arquivo de configuração estão ilustrados na Figura 4.19

Os campos mais relevantes da terapia especificada são o tempo de duração de terapia, o qual é dado em segundos, qual o tipo de movimento que deve ser executado pelo paciente, qual o plano do movimento e os ângulos máximos e mínimos que o paciente deverá alcançar pelos movimentos. O relatório enviado ao fisioterapeuta possui a terapia que havia sido especificada além dos campos que informam sobre a execução do paciente.

Tabela 4.1: Lista dos comandos do protocolo da aplicação

Comando	Descrição	Enviado por
RT	Requisitar Terapia	Módulo do Paciente
ER	Enviar Relatório	Módulo do Paciente
RR	Requisitar Relatório	Módulo do Fisioterapeuta
ET	Enviar Terapia	Módulo do Fisioterapeuta
UE	Usuário Encontrado	Servidor
UNE	Usuário não Encontrado	Servidor
LOGIN	Login/Autenticação	Cliente
BYE	Encerramento da transmissão	Servidor
OK	Confirmação do comando	Servidor
PA	Informa o paciente	Módulo do Fisioterapeuta
<usuario>	Nome do usuário registrado	Cliente
<jogo>	JOGO1 ou JOGO2	Cliente
<arquivo>	Arquivo de configuração	Cliente e Servidor

O campo *qntCorrecoesDePostura* informa a quantidade de correções de postura que o sistema detectou quando o paciente executou um dos movimentos de forma incorreta. O campo *qntMovIncompletos* informa a quantidade de movimentos incompletos que o paciente executou, ou seja, quando o personagem do jogo foi atingido pelos inimigos, revelando que o jogador não completou o movimento exigido. Os campos de mapa de cor e vídeo são relativos ao nome dos arquivos de imagem e vídeo que foram captados durante a execução do jogo.

4.3 Discussão

O desenvolvimento realizado em três módulos diferentes permite que o sistema possa ser utilizado remotamente, onde o profissional de fisioterapia não necessita estar presente em todos os momentos com o paciente, que pode ser auxiliado por um técnico, por exemplo. Também é possível que o fisioterapeuta possa acompanhar diversos pacientes ao mesmo tempo, contando com o apoio das instruções, correções de postura e relatórios gerados pelo

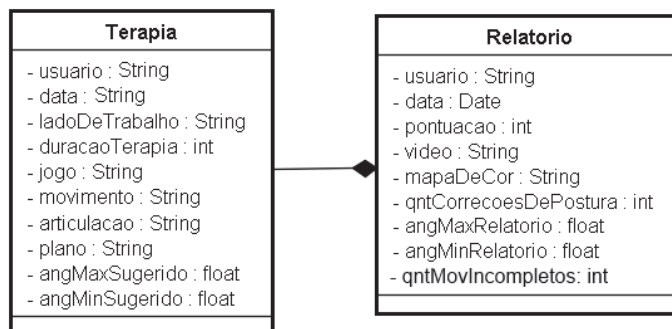


Figura 4.19: Atributos dos objetos serializados no arquivo de configuração.

sistema.

A utilização do Unity3D durante o desenvolvimento de tais jogos pode ser vantajosa de diversas formas, visto que a integração com o cenário e manipulação de modelos em três dimensões embutida dentro do motor gráfico pode facilitar o desenvolvimento de jogos. Entretanto, para utiliza-lo é necessário compreender a estrutura, a forma de organização do motor e o funcionamento dos pacotes de integração. O desenvolvimento com XNA permitiu que no início do desenvolvimento, apenas um ambiente fosse utilizado, o *Visual Studio*. A integração desta IDE com as bibliotecas do Kinect e com o XNA facilitaram o início do desenvolvimento e reduziram a curva de aprendizagem.

Capítulo 5

Processo de Desenvolvimento

É necessário utilizar técnicas de desenvolvimento fundamentadas em bons princípios da engenharia de software, que tem como objetivo a produção de aplicações funcionais, dentro dos custos e prazos, para auxiliar o desenvolvimento dos jogos sérios e viabilizar sua produção, aumentando a quantidade e qualidade destes recursos.

5.1 Processo de Desenvolvimento de Jogos Sérios

Para o desenvolvimento de jogos sérios, Asuncion [Asuncion et al. 2011] definiu objetivos sérios anteriormente aos elementos lúdicos. Durante a experimentação do jogo percebeu que os elementos de motivação criados não foram suficientes para estimular a continua utilização para seu jogo, um *advergame* com o objetivo de divulgar uma instituição. Mesmo criando cenários fieis e boa mecânica de movimentação para o jogo os jogadores não viram motivação para utilizar o produto, o autor verificou que seu projeto necessitaria de uma etapa centrada para a especificação do usuário (jogador).

A metodologia proposta por Seager [Seager et al. 2011] para o desenvolvimento de jogos sérios buscou separar em diferentes etapas o design do jogo (Figura 5.1), da especificação do conhecimento de um profissional da área, definindo os objetivos sérios para um jogo. Para após isso definir o game design ao aplicar análise das tarefas cognitiva (CTA - *Cognitive Task Analysis*), semelhante à representação de um algoritmo, para servir como base para o design criativo do jogo. Entretanto, o autor não cita como os requisitos lúdicos podem ser mesclados aos objetivos do jogo.

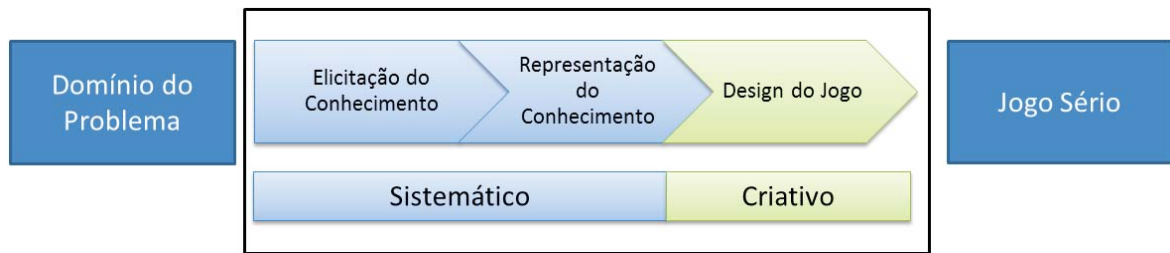


Figura 5.1: Abordagem proposta por Seager para desenvolvimento de jogos sérios. (Baseada em Seager (SEAGER et al., 2011))

Wooters [Wouters, Oostendorp e Spek 2010], além de utilizar CTA para descrever e documentar o conhecimento que será utilizado no jogo propõe utilizar análise do discurso do jogo (GDA – *Game Discourse Analysis*) para descrever informações dos elementos do jogo. Em um momento posterior, os elementos sérios e lúdicos são utilizados em conjunto para formar a mecânica de jogo.

5.2 Práticas Ágeis

Para o gerenciamento das atividades durante o desenvolvimento, as atividades baseadas em processos ágeis podem ser capazes de melhorar o processo de desenvolvimento de jogos sérios. Durante a eliciação e análise dos requisitos sérios, a comunicação entre os profissionais especialistas e desenvolvedores pode ser realizada de forma direta, seguindo recomendações existentes nas atividades dos processos ágeis.

Os elementos lúdicos dos jogos normalmente são constantemente alterados e atualizados durante o desenvolvimento do jogo [Keith 2010]. De acordo com Lewis [Lewis e Whitehead 2011] a experimentação constante é a chave do sucesso para um esforço bem sucedido de criar um jogo. Ao utilizar métodos ágeis no projeto de jogos, é possível evitar a incerteza inicial, onde o desenvolvimento poderá se dar a partir de pequenas iterações para construção do jogo

Os valores que norteiam as metodologias ágeis dão ênfase à comunicação entre os desenvolvedores e clientes, com a participação destes durante o processo para desenvolver versões funcionais mais rapidamente. Adotar atividades de metodologias ágeis para o desenvolvi-

mento de jogos sérios pode proporcionar constante experimentação, respondendo rapidamente as modificações dos requisitos e gerando produtos funcionais mais rapidamente.

5.2.1 Utilizando Scrum

Cada versão do sistema é formada por um grupo de *Sprints* para a construção de um conjunto de funcionalidades específicas. Desta forma, o objetivo foi desenvolver cada versão com foco em apenas um tipo de requisito, os requisitos sérios na etapa Alpha, desenvolver os lúdicos e integrar na etapa Beta e após a avaliação na etapa Completa, finalizar o sistema.

De acordo com Schild [Schild, Walter e Masuch 2010], o desenvolvimento três versões (Alpha, Beta e Completa - ABC *Sprints*) possui diversas vantagens, pois conseguem se adequar bem aos projetos acadêmicos, devido às restrições de tempo que estes impõem, são flexíveis devido ao desenvolvimento iterativo e incremental do Scrum e geram desenvolvimento orientado a metas.

5.2.2 Sprints

a) Alpha

A versão Alpha teve foco na produção dos elementos voltados para a reabilitação física. Através de pesquisas na literatura para levantamento das necessidades e experimentação constante com um profissional de fisioterapia, esta primeira versão do jogo criou todo o arcabouço para uma futura inclusão dos elementos dinâmicos necessários aos jogos digitais. Durante o desenvolvimento e a validação dos casos de uso a comunicação com o fisioterapeuta foi realizada em reuniões semanais e curtas, substituindo a etapa de criação de um documento de especificação gerado através de uma análise cognitiva do conhecimento deste profissional.

A Tabela 5.1 descreve os casos de uso que foram desenvolvidos durante a versão inicial do sistema. Durante o primeiro *sprint*, o desenvolvimento teve foco na identificação das articulações do usuário e no cálculo dos ângulos entre as articulações. Após o reconhecimento das articulações e cálculo dos ângulos, durante o segundo *sprint* foi desenvolvido o módulo do fisioterapeuta, que permite especificar diversos parâmetros para o exercício de fisioterapeuta.

Tabela 5.1: *Product Backlog* para a versão Alpha

Casos de Uso	Descrição	Sprint
1	Ao iniciar, o sistema deverá reconhecer o paciente e identificar articulações	1
2	O sistema deverá capturar o ângulo entre as articulações a partir do Kinect;	1
3	O fisioterapeuta terá a opção de definir as articulações que deverão ser medidas e os ângulos de trabalho que deverão ser alcançados pelo paciente;	2
4	O sistema deverá corrigir a postura do paciente, alertando o mesmo para realizar os movimentos corretamente;	3
5	Após a utilização, deverá ser gerado um relatório de utilização contendo informações sobre a execução dos exercícios;	3

Durante o terceiro *sprint* de desenvolvimento, o enfoque do desenvolvimento foi a geração do relatório sobre os movimentos executados. Inicialmente foi identificando quando o paciente executa um movimento de forma errada, quais os valores de ângulos alcançados durante o exercício e gerado um mapa de cor, que denota a amplitude alcançada durante todo o exercício.

b) Beta

Ao analisar jogos para tratamento e recuperação de saúde, Rego [Rego, Moreira e Reis 2010] verificou a falta de materiais lúdicos e cativantes nos jogos, principal característica nestes softwares. A partir da implementação dos casos de uso na primeira versão, a versão Beta produziu conteúdo motivacional. O desenvolvimento dos elementos lúdicos para o jogo e funcionalidades para facilitar a utilização do sistema, como a comunicação por meio de rede foi realizado nesta etapa.

A Tabela 5.2 descreve os casos de uso desenvolvidos na versão Beta. Um arquivo de configuração sobre o exercício para o paciente e o relatório para o fisioterapeuta é enviado por meio da rede, através de um módulo servidor que gerencia tal comunicação que foi

desenvolvido durante o quarto *sprint*. Durante o quinto *sprint* os elementos motivacionais, tais como sistema de recompensa, modelos 3D e cenários em duas e três dimensões foram produzidos.

Tabela 5.2: *Product Backlog* para a versão Beta

Casos de Uso	Descrição	Sprint
6	A transmissão da configuração do jogo e do relatório deverá ser feita via internet;	4
7	Um módulo servidor deverá mediar a comunicação entre os jogos e o módulo do fisioterapeuta;	4
8	O sistema deverá ter elementos lúdicos e cenários modelados em duas e em três dimensões;	5
8	O paciente deverá ser recompensado por meio de um sistema de pontuação, efeitos visuais e sonoros, ligados ao seu desempenho no jogo;	5
9	Um dos jogos deverá ter uma versão voltada para meninos e uma versão para meninas.	6

b) Completa

Para finalizar o sistema, o desenvolvimento da versão completa se deu após a experimentação e avaliação pelos profissionais de fisioterapia. Para o jogo, as principais requisições foram a modificação do controle de movimento que guia a aeronave, maior destaque aos elementos motivacionais, tais como pontuação, sons e animações e informação na tela para o jogador sobre qual o ângulo que está sendo executado e se o mesmo está correto ou não para o tratamento.

Para o módulo do fisioterapeuta, foi acrescentado no relatório a quantidade de movimentos executados durante o jogo e a possibilidade de visualizar a evolução do paciente a partir de um relatório. Houve a retirada de *bugs* e refatoração de código. A Tabela 5.3 ilustra os casos de uso que foram selecionados para o *sprint* final de desenvolvimento.

Tabela 5.3: *Product Backlog* para a versão Completa

Casos de Uso	Descrição	Sprint
10	Modificação do controle de movimento;	7
11	Criação de sons e animações para o jogo e melhoria dos elementos <i>feedback</i> de pontuação e informação do movimento;	7
12	Criação do sistema para controle de evolução;	8
13	Retirada de <i>bugs</i> e refatoração de código	8

5.3 Discussão

A utilização das atividades existentes no *Scrum* para guiar as etapas de desenvolvimento pôde agilizar o desenvolvimento do produto. A divisão dos objetivos em cada versão permitiu o desenvolvimento orientado a metas e a constante experimentação dos elementos sérios pelo fisioterapeuta e dos elementos lúdicos fez com que as funcionalidades do sistema fossem refinadas de forma antecipada.

Entretanto, após a fase de experimentação na versão Beta, houveram diversas modificações sugeridas pelos profissionais de fisioterapia. Mesmo o desenvolvimento contando com um fisioterapeuta, outras sugestões puderam contribuir consideravelmente para a melhoria das funcionalidades e identificar problemas que haviam sido negligenciados. A maior parte dos problemas indicados pelos utilizadores foi relacionada aos elementos motivacionais. A produção destes poderia ser melhorada ao terceirizar a criação de tais elementos ou contar com uma equipe para desenvolvimento de elementos gráficos e sonoros durante esta etapa.

Capítulo 6

Avaliação Experimental

Após o desenvolvimento do sistema, este foi levado para experimentação e avaliação por alunos concluintes do curso de fisioterapia. Os participantes do experimento realizaram a avaliação objetiva e discursiva de diversas funcionalidades do sistema, dando um parecer final sobre possíveis utilizações do sistema. As perguntas realizadas estão descritos nos Apêndices C, inspirado nos trabalhos de Rego [Rego, Moreira e Reis 2011] e Bartolomé [Bartolomé 2011], e as respostas estão comentadas na Sessão 6.2.

6.1 Experimento

O experimento do sistema foi realizado na clinica escola da UEPB, em um consultório de atendimento, com 25 alunos do curso de fisioterapia das instituições UEPB e FCM. Tais alunos realizam estágio na clinica escola das respectivas instituições, tratamento pacientes que apresentam diversos tipos de problemas. O critério para inclusão dos participantes foi a experiência em tais atendimentos de pelo menos dois anos, com funções locomotoras normais e sem problemas de saúde.

A estrutura montada para a execução do experimento foi a seguinte: Computador contendo todo o sistema instalado (módulo do fisioterapeuta, módulo do servidor e módulo do paciente) ligado a um monitor, ao Kinect e a uma televisão. A Figura 6.1 ilustra o posicionamento dos elementos no consultório. Para a comunicação entre os diferentes módulos, o servidor foi ligado na interface de rede *loopback* e os demais módulos se conectaram a ele por esta interface.



Figura 6.1: Estrutura montada para o experimento.

6.1.1 Plano e Execução do Experimento

Após uma breve explicação sobre os objetivos da pesquisa, sobre o funcionamento do sistema e sobre os diferentes módulos, os participantes foram apresentados ao módulo do fisioterapeuta, onde puderam configurar 4 tipos de movimentos para o jogo de movimentos específicos: O movimento de abdução/adução vertical no plano coronal, flexão/extensão no plano sagital, flexo-abdução no plano transversal e o de rotação externa e interna também no plano transversal. Os demais parâmetros foram mantidos durante o decorrer da experimentação com os seguintes valores: tempo de 30 segundos, lado direito do corpo, ângulo mínimo de 20 graus e ângulo máximo de 90 graus. A Figura 6.2 ilustra a execução do jogo com um dos participantes.



Figura 6.2: Participante experimentando o sistema.

Após a execução de cada movimento configurado, os participantes visualizaram o relatório gerado a partir da execução jogo no módulo do fisioterapeuta, o qual contém o mapa de cor do movimento (Figura 6.3), os ângulos máximo e mínimo que foram alcançados, a quantidade de compensações na coluna para cada movimento e a quantidade de movimentos incompletos. Ao término da experimentação, os participantes avaliaram a experiência por meio de perguntas objetivas e discursivas em um questionário. O questionário avaliativo foi dividido em 4 sessões: Informações pessoais; dinâmica do jogo; função fisioterapêutica do jogo e; módulo do fisioterapeuta.

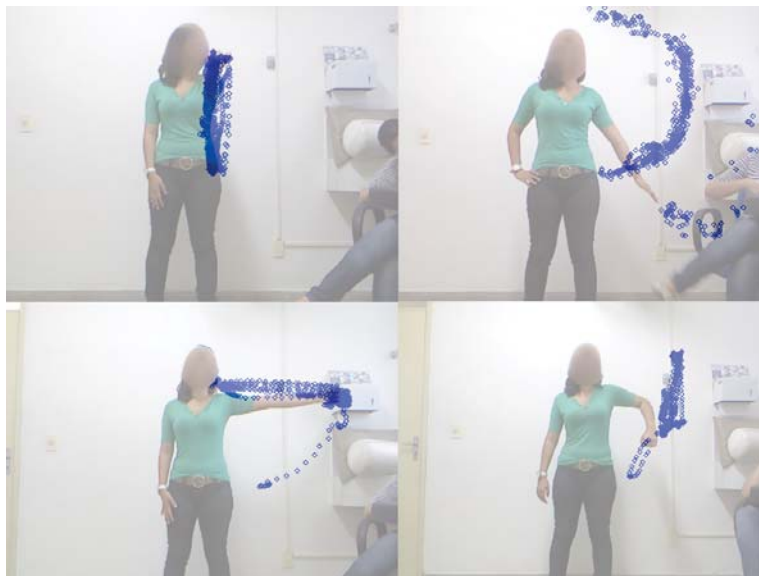


Figura 6.3: Mapa de cor para os movimentos de flexão/extensão no plano sagital, adução/abdução no plano coronal, flexo abdução no plano transversal e rotação interna e externa no plano transversal.

As perguntas do questionário trataram sobre o sistema de forma geral, sobre o controle do jogo para movimentos específicos e sobre o módulo do fisioterapeuta. Para o jogo de movimentos variados os participantes testaram o modo de um jogador durante o período de 30 segundos, avaliando apenas de forma discursiva.

6.2 Análise do Experimento

Dentre os participantes, uma parte do grupo (32%) já havia participado de cursos ou palestras sobre jogos em fisioterapia. Isto motivou que, além da análise objetiva e discursiva de toda a

amostra, fosse realizada uma análise comparativa das respostas dos que já haviam participado de cursos e palestras sobre jogos e fisioterapia (8 participantes - Grupo 1) e os que não participaram (17 participantes - Grupo 2).

6.2.1 Análise da Dinâmica do Jogo

Para analisar a dinâmica do jogo, foram realizadas seis perguntas aos participantes, indagando sobre a facilidade de jogar, os desafios, o nível de interação, a diversão, o cenário e ambiente do jogo e sobre o sistema de recompensa. Esta primeira etapa do questionário buscou avaliar os elementos de motivação e diversão do jogo.

a) Facilidade de Jogar

A facilidade de jogar está relacionada ao controle que o participante conseguiu ao utilizar os movimentos, assim como à experiência que o jogo proporcionou. De forma geral, é interessante que um jogo não seja considerado muito difícil e até gere frustração nos jogadores, ou ser tão fácil que não gere o sentimento de desafio.

Foi perguntado aos participantes como os mesmos perceberam a facilidade para jogar o jogo, em uma escala de 1 à 5. Da seguinte forma: 1 significa que acharam o jogo muito difícil; 2 significa que acharam difícil; 3 significa que acharam normal e não tiveram nenhum tipo de dificuldade; 4 significa que acharam o jogo fácil e; 5 significa que acharam o jogo muito fácil. A Figura 6.4 ilustra os resultados desta pergunta.

No total, houve uma grande variação dentre as respostas sobre a facilidade de jogar. A maioria dos participantes (52%) respondeu que a facilidade do jogo é normal, enquanto que alguns participantes responderam que o jogo é difícil de jogar (20 %) ou fácil de jogar (20 %). Apenas, 8% dos participantes acharam que o jogo estava muito difícil ou muito fácil de jogar.

b) Desafios do Jogo

Foi perguntado aos participantes como os mesmos avaliaram os desafios do jogo, em uma escala de 1 à 5. Da seguinte forma: 1 significa que acharam o jogo não foi desafiador; 2 significa que acharam pouco desafiador; 3 significa que acharam normal; 4 significa que

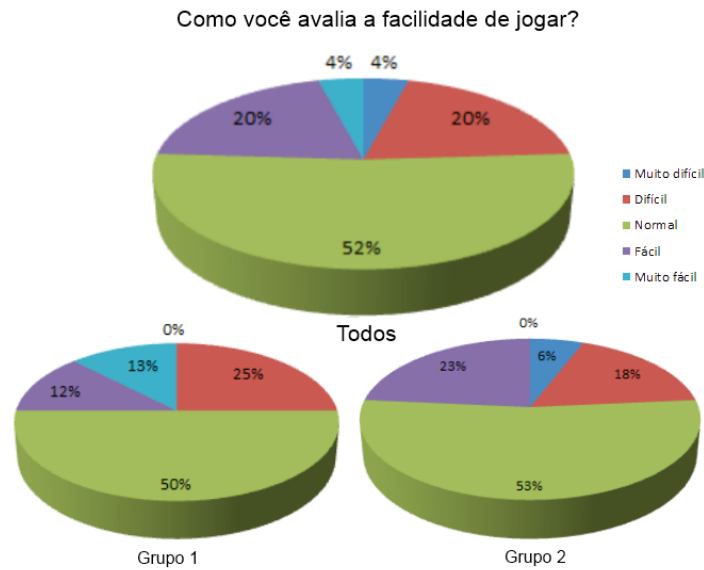


Figura 6.4: Estatísticas da pergunta sobre a facilidade de jogar.

acharam o jogo desafiador; 5 significa que acharam o jogo muito desafiador. A Figura 6.5 ilustra as estatísticas referentes a esta pergunta.

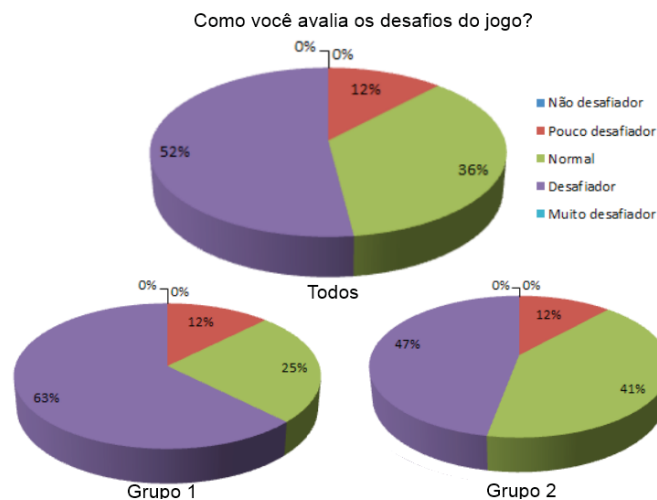


Figura 6.5: Estatísticas da pergunta sobre os desafios do jogo

A análise desta pergunta revelou que a maioria dos participantes (52%) avaliou que o jogo foi desafiador, 36% avaliaram os desafios como normal, enquanto apenas 12% avaliaram como pouco desafiador. Os participantes realizaram diversos comentários e observações para que o sistema pudesse melhorar a dinâmica, tais como a possibilidade do jogo possuir diferentes níveis de dificuldade para se adaptar à pacientes com limitações diferentes. Isto

pode ser feito dando a possibilidade de ajustar a velocidade dos inimigos no jogo. Esta pergunta está diretamente relacionada à pergunta analisada na Sessão 6.2.2f, a qual relaciona os desafios ao tratamento fisioterapêutico.

c) Nível de Interação

Foi perguntado aos participantes como os mesmos avaliaram o nível de interação do jogo, em uma escala de 1 à 5. Da seguinte forma: 1 significa que acharam o jogo não interativo; 2 significa que acharam pouco interativo; 3 significa que acharam normal; 4 significa que acharam o jogo interativo e; 5 significa que acharam o jogo muito interativo. A Figura 6.6 ilustra as estatísticas referentes a esta pergunta. Para esta pergunta, a maioria dos participantes respondeu que o achou jogo interativo (72%) ou muito interativo (12%).

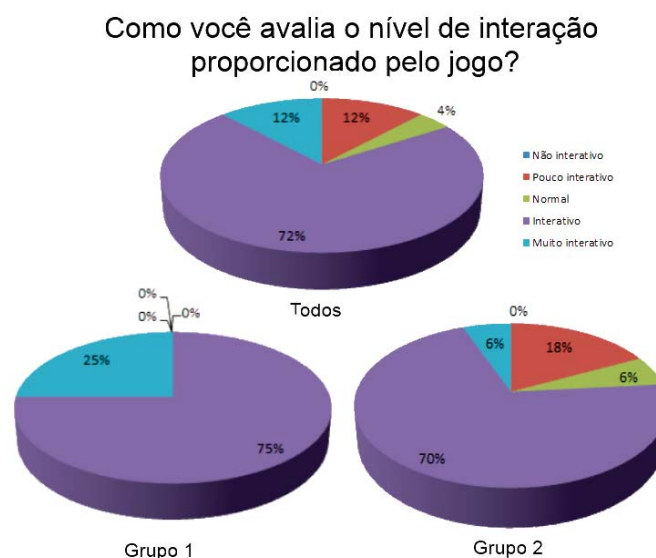


Figura 6.6: Estatísticas da pergunta sobre o nível de interação proporcionado pelo jogo

d) Diversão

Foi perguntado aos participantes como os mesmos avaliaram o nível de diversão proporcionada pelo jogo, em uma escala de 1 à 5. Da seguinte forma: 1 significa que acharam o jogo não divertido; 2 significa que acharam pouco divertido; 3 significa que acharam normal; 4 significa que acharam o jogo divertido e; 5 significa que acharam o jogo muito divertido. A Figura 6.7 ilustra as estatísticas referentes a esta pergunta.

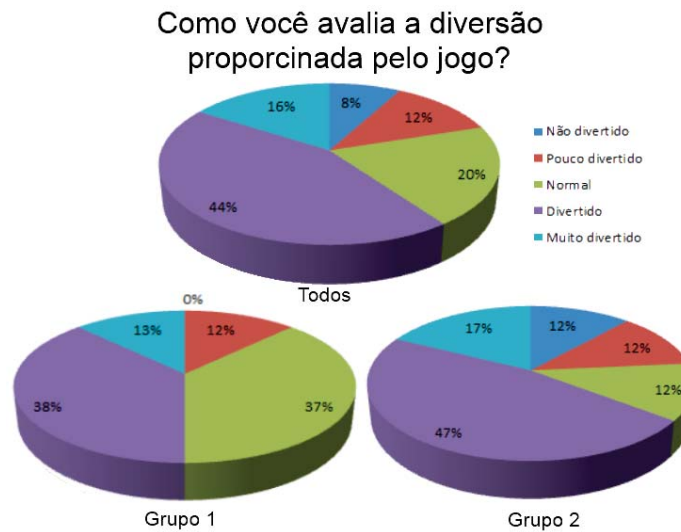


Figura 6.7: Estatísticas da pergunta sobre o nível de diversão proporcionado pelo jogo

Houve uma grande variação entre as respostas desta questão, a maioria dos entrevistados respondeu que o jogo é divertido (44%), enquanto que 16% acharam muito divertido. Uma parte dos participantes (20%) não acharam divertido (8%) ou acharam pouco divertido (12%). Os participantes que avaliaram como não divertido apresentaram dificuldades ao controlar os elementos do jogo a partir dos movimentos, avaliando as perguntas sobre o controle da Sessão 6.2.2 como nenhum controle ou pouco controle.

A diversão é um fator relativo, que depende dos gostos subjetivos das pessoas, do momento e da expectativa. Schuytema [Schuytema 2008] acredita que "a diversão é atingida no momento em que as expectativas não são apenas superadas, mas 'sacudidas' de maneira nova e inesperada, podendo acontecer em momentos individuais ou durante o fluxo do jogo". Koster [Koster e Wright 2004], acredita que a sensação de superar desafios pode levar sentimento de diversão para o jogador,

As colocações destes autores refletem a grande variação nas respostas. Entretanto, é necessário observar que o fator diversão também está ligado aos resultados e aos elementos do jogo. Como descrito nas perguntas referentes ao controle de movimento, os participantes relataram problemas relacionados ao controle dos elementos do jogo a partir de alguns movimentos.

e) Cenários

Foi perguntado aos participantes como os mesmos avaliaram o cenário e ambiente do jogo, em uma escala de 1 à 5. Da seguinte forma: 1 significa que acharam os cenários e ambientes não adequados; 2 significa que acharam pouco adequados; 3 significa que acharam normal; 4 significa que acharam adequados e; 5 significa que acharam muito adequados. A Figura 6.8 ilustra as estatísticas referentes a esta pergunta.

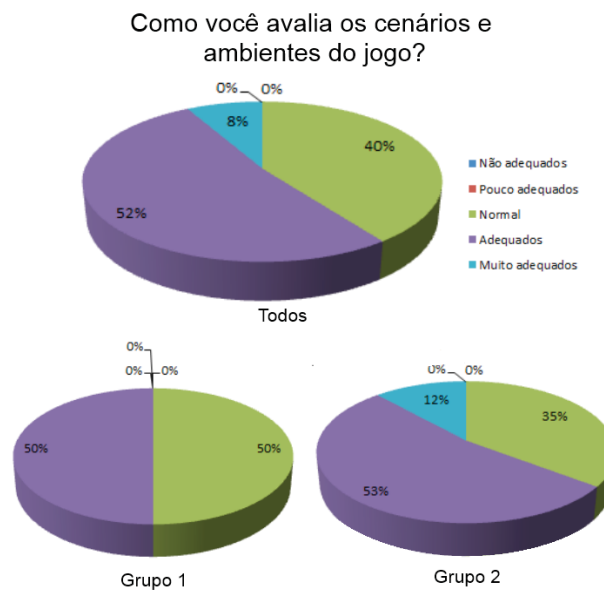


Figura 6.8: Estatísticas da pergunta sobre os cenários e ambientes do jogo

Os participantes, de modo geral, gostaram do cenário e ambiente do jogo. Entretanto, durante o experimento, relataram a falta de cenários e ambientes femininos, já que um jogo de aeronave pode ser mais adequados para pessoas do sexo masculino. Uma das justificativas dada para tal colocação é o fato de que a maior parte dos atendimentos na clínica é feita em pessoas do sexo feminino. Durante a execução, foi sugerido que o ângulo atual do jogador fosse mostrado constantemente como um dos elementos visuais no HUD (*Head Up Display*).

Outros estilos de jogo também foram sugeridos, principalmente os que possuem uma representação virtual do esqueleto do jogador. Tal representação foi recomendada pois pode ilustrar à um paciente os movimentos que estão sendo executados e auxiliar na execução correta.

f) Sistema de Recompensa

Foi perguntado aos participantes como os mesmos avaliaram o sistema de recompensas do jogo, em uma escala de 1 à 5. Da seguinte forma: 1 significa que acharam as recompensas não motivantes; 2 significa que acharam pouco motivantes; 3 significa que acharam normal; 4 significa que acharam motivantes e; 5 significa que acharam muito motivantes. A Figura 6.9 ilustra as estatísticas referentes a esta pergunta.

Como você avalia o sistema de recompensas do jogo?
(pontuação, sons, animação)

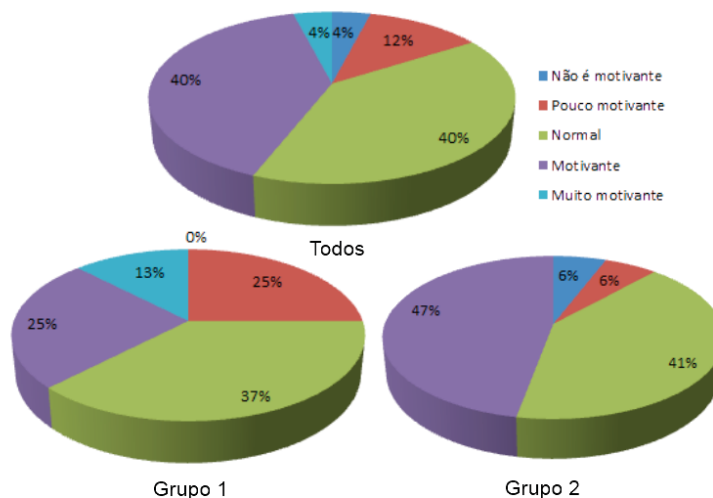


Figura 6.9: Estatísticas da pergunta sobre os cenários e ambientes do jogo

Os participantes avaliaram o sistema de recompensas como normal (40%) e motivante (40%). Diversos participantes fizeram comentários e observações sobre tal funcionalidade, sugerindo que o jogo desse maior destaque aos avisos de erro, por exemplo, no momento de alertar sobre compensação sobre a coluna, assim como quando o jogador alcançar um *power up* no jogo.

Os efeitos sonoros foram poucos percebidos, devendo estes serem combinados com os avisos visuais com maior destaque. Foi sugerida a utilização de animações e sons comemorativos para estimular o jogador. Os participantes mostraram-se motivados ao visualizar sua pontuação ao término de cada etapa da avaliação, entretanto sugeriram um maior destaque para a pontuação.

6.2.2 Análise dos Elementos Fisioterapêuticos

O questionário solicitou que os participantes avaliassem o controle a partir do movimento em quatro configurações distintas para a articulação do ombro. As configurações foram as seguintes: Movimento de adução/abdução vertical no plano coronal; movimento de flexão/extensão no plano sagital; movimento de flexo adução horizontal no plano transversal e; rotação externa e interna no plano transversal.

a) Adução/Abdução Vertical do Ombro no Plano Coronal

Foi perguntado aos participantes como os mesmos avaliaram o controle do movimento para a configuração definida, em uma escala de 1 à 5. Da seguinte forma: 1 significa que não conseguiram controlar; 2 significa que conseguiram pouco controle; 3 significa que controlaram normalmente; 4 significa que tiveram muito controle e; 5 significa que tiveram controle completo no jogo. A Figura 6.10 ilustra as estatísticas referentes a esta pergunta.

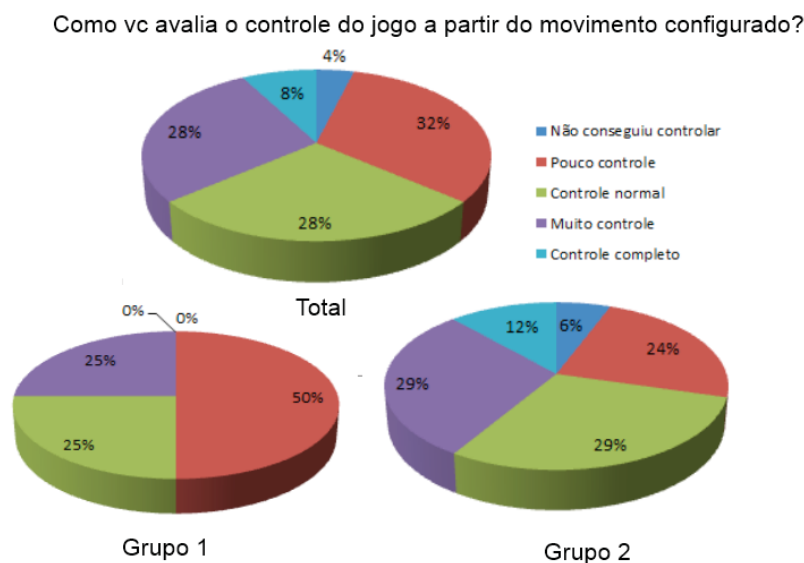


Figura 6.10: Estatísticas da pergunta sobre o controle para o movimento de adução/abdução vertical no plano coronal do ombro

O resultado foi bastante disperso, 36% dos participantes relataram que não conseguiram controlar ou tiveram pouco controle sobre o jogo a partir dos movimentos. 36% dos participantes relataram que tiveram muito controle ou controle completo. Tal variação tenha causa pela facilidade/dificuldade dos participantes ao interagirem com tal forma de controle para

jogos. Entretanto, um resultado ideal seria que a maioria dos participantes tivessem muito controle ou controle completo para tal movimento.

A partir dos comentários dos participantes e observações da execução do teste, pode-se verificar que a angulação mínima recomendada e a máxima recomendada foram constantemente ultrapassadas pelos participantes, devido à vontade para elevar ou abaixar a aeronave mais rapidamente, mesmo alertando os participantes no início da execução que a aeronave do jogo travaria quando o movimento ficasse fora do ângulo configurado. Um dos motivos para a constante dificuldade em controlar e manter os ângulos corretos foi a ausência da informação na tela de jogo sobre qual ângulo atual do participante.

Além disso, a inércia da aeronave do jogo ao ultrapassar superiormente ou inferiormente o ângulo pré-definido foi bastante criticada. Uma das soluções propostas é a utilização de uma escala contínua para o movimento do elemento do jogo em relação ao configurado pelo fisioterapeuta ao invés do movimento orientado por gatilhos em ângulos pré-definidos. Ou seja, o personagem do jogo (aeronave) deve se movimentar de acordo com o movimento definido, devendo chegar à posição mais alta quando o jogador tiver atingido o ângulo máximo e a posição mais inferior quando o jogador tiver atingido o ângulo mínimo. Enquanto a angulação estiver dentro deste intervalo o personagem do jogo deve manter-se em movimento, em uma posição relativa ao ângulo executado.

b) Flexão/Extensão Vertical do Ombro no Plano Sagital

Foi perguntado aos participantes como os mesmos avaliaram o controle do movimento para a configuração definida, em uma escala de 1 à 5. Da seguinte forma: 1 significa que não conseguiram controlar; 2 significa que conseguiram pouco controle; 3 significa que controlaram normalmente; 4 significa que tiveram muito controle e; 5 significa que tiveram controle completo no jogo.

Para o segundo movimento configurado, a quantidade de participantes que não conseguiu controlar ou teve pouco controle durante a execução do jogo reduziu (28%). Após a primeira execução, os participantes tiveram maior facilidade e compreenderam melhor o funcionamento da detecção dos movimentos. A Figura 6.11 ilustra as estatísticas referentes a esta pergunta.

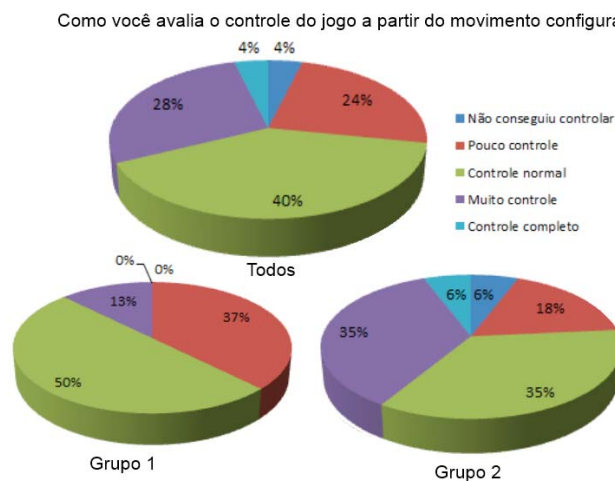


Figura 6.11: Estatísticas da pergunta sobre o controle para o movimento de flexão/extensão vertical no plano sagital do ombro

c) Flexo Adução Horizontal no Plano Transversal

Foi perguntado aos participantes como os mesmos avaliaram o controle do movimento para o movimento de flexo adução horizontal no plano transversal, em uma escala de 1 à 5. Esta configuração foi avaliada da seguinte forma: 1 significa que não conseguiram controlar; 2 significa que conseguiram pouco controle; 3 significa que controlaram normalmente; 4 significa que tiveram muito controle e; 5 significa que tiveram controle completo no jogo.

Modificar o plano de execução gerou dificuldade para alguns dos participantes controlarem o movimento. Grande parte (48%) não conseguiu controlar ou teve pouco controle do jogo. A Figura 6.12 ilustra as estatísticas referentes a esta pergunta.

d) Rotação Externa e Interna no Plano Transversal

Foi perguntado aos participantes como os mesmos avaliaram o controle do movimento para o movimento de rotação externa e interna no plano transversal, em uma escala de 1 à 5. Da seguinte forma: 1 significa que não conseguiram controlar; 2 significa que conseguiram pouco controle; 3 significa que controlaram normalmente; 4 significa que tiveram muito controle e; 5 significa que tiveram controle completo no jogo.

A grande maioria (68%) não conseguiu controlar ou teve pouco controle para o movimento de rotação externa e interna. Esta configuração é a única que não utiliza ângulo

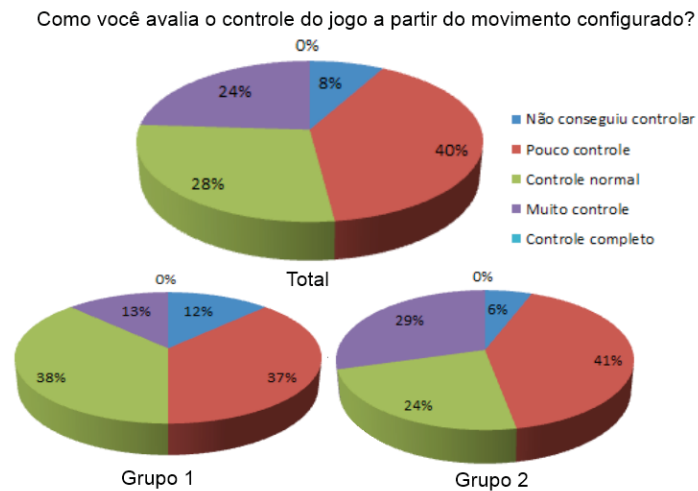


Figura 6.12: Estatísticas da pergunta sobre o controle para o movimento de flexo adução horizontal no plano transversal

mínimo e máximo, obrigando o participante a executar o movimento completo, mantendo o ângulo do ombro no plano coronal próximo à 90 graus e o cotovelo também próximo à 90 graus, com uma margem de mais ou menos 10 graus. A Figura 6.13 ilustra as estatísticas referentes a esta pergunta.

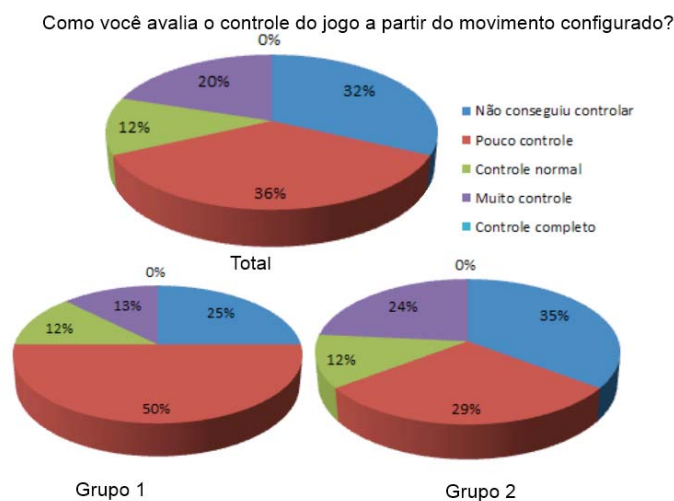


Figura 6.13: Estatísticas da pergunta sobre o controle para o movimento de rotação externa e interna no plano transversal.

Tal exigência foi criticada pelos participantes por se tratar de um movimento avançado e que poucos pacientes poderiam executar. Foi sugerido que as exigências para este movi-

mento fossem reduzidas, o que pode ser realizado aumentando a margem para mais de 10 graus. Também é possível calcular tal movimento a partir da posição relativa da mão ao ombro, estando acima ou abaixo para detectar a posição de rotação.

e) Função Fisioterapêutica do Jogo

Foi perguntado aos participantes como os mesmos avaliaram a função fisioterapêutica presente no jogo, em uma escala de 1 à 5. Da seguinte forma: 1 significa que a função fisioterapêutica não é efetiva; 2 significa que é pouco efetiva; 3 significa que é normal; 4 significa que a função fisioterapêutica é efetiva; 5 significa que é muito efetiva.

A maioria dos participantes (64%) avaliou a função fisioterapêutica do sistema como efetiva e 24% como muito efetiva. Todos os participantes que foram agrupados no grupo 1 avaliaram a ação fisioterapêutica como efetiva ou muito efetiva. É interessante observar que mesmo com os problemas relatados, os participantes acreditam que o sistema pode contribuir com a reabilitação fisioterapêutica. A Figura 6.14 ilustra as estatísticas referentes a esta pergunta.

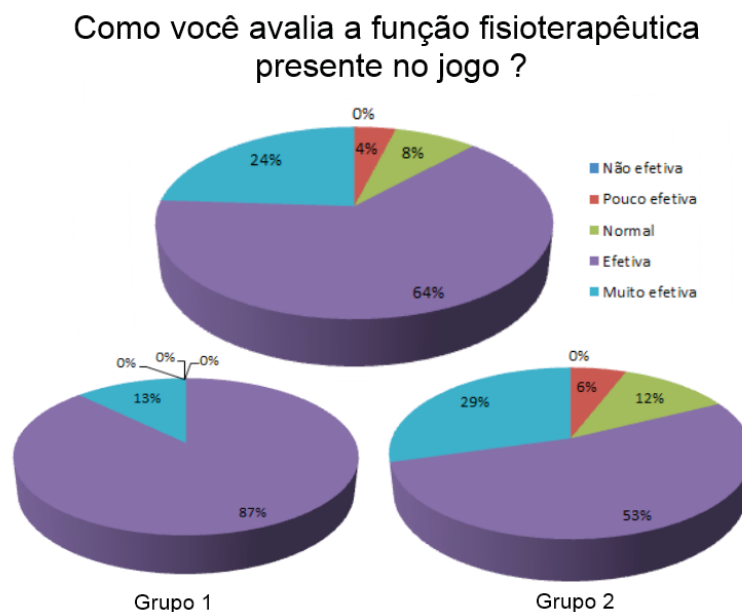


Figura 6.14: Estatísticas para a pergunta sobre a função fisioterapêutica do jogo

f) Compatibilidade do Jogo para o Tratamento Fisioterapêutico

Foi perguntado aos participantes como os mesmos avaliaram a compatibilidade do jogo em relação ao tratamento fisioterapêutico, em uma escala de 1 à 5. Da seguinte forma: 1 significa que o jogo não é compatível; 2 significa que é pouco compatível; 3 significa que é normal; 4 significa que é compatível; 5 significa que é muito compatível. A Figura 6.15 ilustra as estatísticas referentes a esta pergunta.

A maioria dos participantes (80%) avaliou que a dinâmica e desafios presentes no jogo é compatível ou muito compatível com o tratamento fisioterapêutico. Entretanto, de acordo com os participantes, ainda é necessário corrigir os problemas relatados para que tal sistema seja adaptável para pacientes com limitações de movimento. A possibilidade de detecção de movimentos incompletos é uma necessidade para tais sistemas, já que diversos pacientes possuem a mobilidade reduzida ao iniciar o tratamento. Assim, a restrição na detecção pode prejudicar a motivação e eliminar o efeito lúdicos e motivador dos jogos.

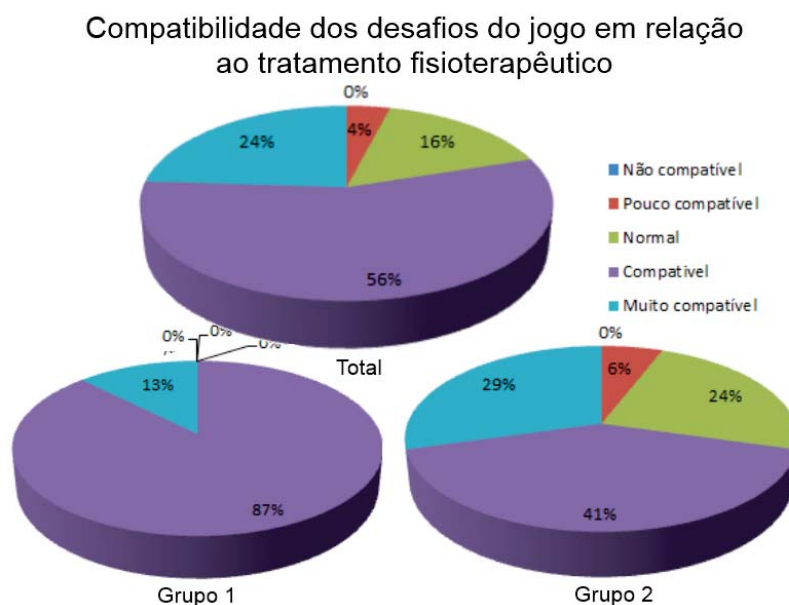


Figura 6.15: Estatísticas para a pergunta sobre a compatibilidade do jogo em relação ao tratamento fisioterapêutico

g) Benefícios e Motivação do Jogo para Execução de Movimento

A maioria dos participantes acredita que o sistema poderá ajudar a executar corretamente os movimentos necessários em uma sessão fisioterapêutica. O ajuste da angulação também foi um dos benefícios mencionados, pois possibilita estabelecer objetivos para a evolução do paciente. Entretanto, alguns participantes apenas utilizariam o sistema após a correção dos problemas de controle dos movimentos. Mesmo assim, foi ressaltado que tal ferramenta pode melhorar a motivação quando realizada com a instrução verbal e contínua do terapeuta, que aliada ao estímulo visual, poderá favorecer o movimento e também a cognição em alguns pacientes.

Os participantes também acreditam que o jogo pode melhorar a motivação dentre os pacientes. O fator diversão pode permitir que as dores sejam esquecidas, as limitações ultrapassadas enquanto se foge dos tratamentos comuns e da monotonia, tornando o tratamento mais descontraído. O estímulo para superar a pontuação anterior foi exaltado como um dos principais elementos motivacionais. Também foi destacado que a aplicação do jogo poderá ser muito útil com crianças, por se tratar de um elemento lúdico e diferente da realidade das sessões de fisioterapia.

6.2.3 Análise do Módulo do Fisioterapeuta

Foi realizada um questionamento sobre a avaliação das ferramentas de gerenciamento da terapia, que configura o movimento executado, ângulo, plano, lado e tempo máximo do jogo. A maioria dos participantes (84 %) acredita que tal ferramenta é útil ou muito útil. A Figura 6.16 ilustra as estatísticas referentes a esta pergunta.

Também foi questionado a avaliação das ferramentas de acompanhamento da terapia. A maioria dos participantes (80 %) acredita que tal ferramenta é útil ou muito útil. A Figura 6.17 ilustra as estatísticas referentes a esta pergunta. Além das informações geradas, foi solicitado que o sistema gerasse a quantidade de movimentos durante a execução do jogo.

Os participantes também requisitaram algumas melhorias ao módulo do fisioterapeuta, para que este gere relatórios e informações mais condensadas sobre a evolução das terapias. Também é necessário gerar um relatório menos técnico que possa mostrar a evolução ao paciente, assim como configurar um plano metas e mostrar estas ao paciente como próximos

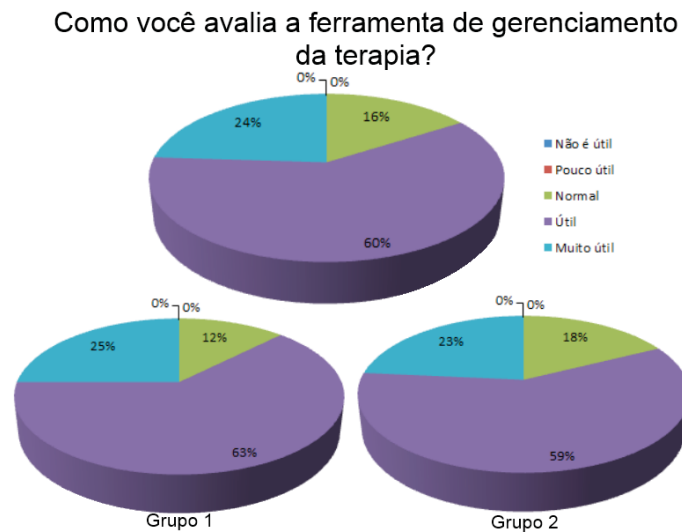


Figura 6.16: Estatísticas para a pergunta sobre a avaliação da ferramenta de gerenciamento da terapia

objetivos.

6.3 Discussão

Os participantes relataram que durante um tratamento de fisioterapia eles utilizam diversos tipos de mecanismos para melhorar dinâmica do tratamento, de forma que o paciente se mantenha motivado. A utilização dos jogos pode ser mais uma alternativa a ser utilizada durante a terapia como um dos elementos motivadores. Entretanto, os desafios apresentados pelo estado atual do jogo devem ser modificados para se adequarem à realidade de diferentes pacientes.

Dentre os problemas, a velocidade dos inimigos (asteroides) e o controle de subida e descida da espaçonave apenas ao alcançar os ângulos máximo e mínimo foram mais ressaltados. Tal dificuldade foi observada durante a execução dos exercícios, no momento que os participantes ultrapassavam os ângulos pré-determinados, fazendo com que a aeronave se mantivesse inerte. Alguns dos participantes somente conseguiram realizar o controle das posições após um período de tempo.

Como melhoria para facilitar a dinâmica de jogo, foi sugerida a utilização de uma escala contínua para o movimento da aeronave do jogo, ao invés de fazê-lo subir ou descer apenas ao

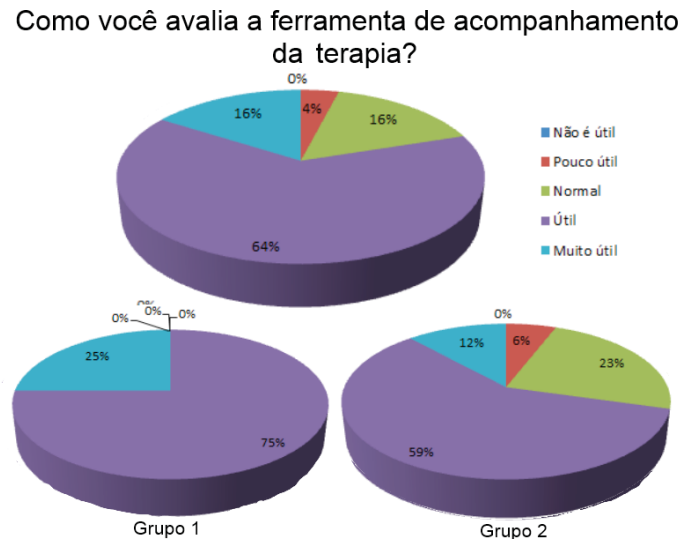


Figura 6.17: Estatísticas para a pergunta sobre a avaliação da ferramenta de acompanhamento da terapia

atingir um ângulo máximo ou mínimo pré-determinado. Uma outra sugestão foi a de alertar constantemente o jogador se o ângulo que o mesmo está realizando está correto, acima ou abaixo do necessário.

Dentre os elementos da interface do jogo, notou-se durante o experimento que é necessário apresentar ao jogador qual o ângulo que este está executando a cada momento. Desta forma, isto poderá ajudar a melhorar e adequar seu posicionamento. O aviso que alerta sobre o desvio de coluna foi notado por poucos participantes durante a terapia. Após a execução os jogadores visualizando outros participarem puderam notar ao ficarem como espectadores.

Mesmo não sendo avaliado objetivamente, com fins estatísticos, os participantes utilizaram e avaliaram positivamente as características do jogo para movimentos variados. Descrevendo que o principal benefício do jogo é permitir movimentos de mais de uma articulação e do corpo todo, assim, pode ser trabalhado o equilíbrio e a coordenação de um paciente. Este jogo ainda precisa ser finalizado, sendo necessário a inclusão de efeitos sonoros e visuais.

Ao final da avaliação, foi perguntado aos participantes se os mesmos utilizariam este sistema no tratamento de reabilitação em pacientes. A maioria dos participantes (88%) respondeu que utilizaria este sistema no tratamento de pacientes, destacando diversos motivos para a adoção do sistema: A forma lúdica e o estímulo aos movimentos do jogo podem ser benéficas ao tratamento; a quantidade de movimentos que o sistema consegue identificar; o

fator inovação e; o controle do paciente, no que diz respeito ao ganho, perdas e alterações do tratamento. Também foi ressaltado que o jogo ainda apresenta um elevado nível de dificuldade devido aos problemas de controle a partir do movimento e que pode ser inadequados para alguns pacientes.

Capítulo 7

Considerações Finais

7.1 Dispositivos de Detecção e Kinect

Inicialmente, para o desenvolvimento de jogos direcionados à reabilitação física foi necessário conhecer os dispositivos de hardware existentes e como estes podem ser utilizados nos sistemas para o tratamento. A revisão dos sistemas e dispositivos para tratamento fisioterapêutico verificou a necessidade de identificar as características e demandas do tratamento. Após isso, o dispositivo poderá ser escolhido e o sistema poderá ser desenvolvido.

Dentre os dispositivos analisados, o Kinect mostrou que possui vantagens e desvantagens em relação a outros dispositivos de captura de movimento do corpo. Com o Kinect é possível detectar diversas articulações do corpo humano, de maneira não invasiva, o que pode trazer diversas vantagens ao tratamento já que não gera desconforto no paciente. Quando comparado à câmeras RGB, o custo do Kinect é mais elevado, entretanto as características de detecção aliadas à facilidade de utilização do pacote de desenvolvimento da Microsoft para o Kinect permitem maior facilidade o desenvolvimento de sistemas para detectar o corpo humano. Assim, as características do Kinect permitem que este dispositivo seja de fácil aquisição e possa ser confiável para ser utilizado em um sistema de tratamento fisioterapêutico remoto.

O Kinect mostrou-se eficiente para a detecção e identificação dos ângulos de diversos movimentos. Entretanto, alguns dos movimentos, como o de rotação de articulações não são detectadas de maneira suficiente. Para tais casos é possível que o sistema possa utilizar outros dispositivos de forma adicional para captar múltiplas informações sobre o paciente.

7.2 Desenvolvimento de Jogos para Saúde

Embora o desenvolvimento de jogos seja tradicionalmente associado com o desenvolvimento de *software*, para os jogos sérios voltados à saúde é necessário observar aspectos clínicos e sociais dos pacientes. Além disso, o modo e o ambiente em que os jogos serão utilizados também devem ser considerados.

A análise de trabalhos relacionados, além do desenvolvimento junto a um fisioterapeuta, auxiliou na construção do sistema ao identificar antecipadamente as principais necessidades para um tratamento. O trabalho realizou pesquisa nos mais recentes trabalhos publicados, analisando objetivamente as características de cada um, gerando um conjunto de especificações para as funcionalidades. O sistema foi desenvolvido de acordo com as especificações e o apoio de um especialista, reunindo, em um único sistema, funções para auxiliar no tratamento e reabilitação do paciente, funções de gerenciamento e administração do tratamento para o fisioterapeuta, além de possuir características que o diferencia dos demais trabalhos existentes: dois estilos de jogo e diferentes modos de jogo - um jogador ou dois jogadores por meio de comunicação por internet.

Os elementos motivacionais foram desenvolvidos a fim de que os pacientes (jogadores) consigam realizar os exercícios e continuem motivados com a terapia. Um paciente poderá realizar o tratamento em seu domicílio, necessitando apenas de conexão com a internet para configurar os parâmetros necessários ao jogo e, após a sessão, o relatório do exercício é enviado ao fisioterapeuta.

7.3 Avaliação do Sistema

A avaliação do sistema foi positiva, já que a maioria dos participantes acredita que o sistema pode ajudar no tratamento e que utilizariam o sistema em seus pacientes. Os elementos de configuração, ajustes da terapia e acompanhamento foram considerados. As observações concentraram-se sobre a mecânica do jogo e elementos lúdicos, citando a necessidade de gerar mais estímulos e indicar melhor o *feedback* ao jogador. Acredita-se que uma vez que os problemas de detecção do movimento sejam corrigidos, a aceitação do sistema possa ser maior entre os fisioterapeutas e assim possa ser levado para a aplicação em pacientes.

Durante a avaliação dos jogos, foi percebido a necessidade de um maior período de desenvolvimento para a inclusão e experimentação de elementos lúdicos, os quais necessitam de maior aprofundamento técnico e artístico para desenvolvimento. O desenvolvimento acompanhado com o profissional de fisioterapia permitiu um bom planejamento para as funcionalidades técnicas, entretanto, durante o período Beta de desenvolvimento do jogo é necessário ampliar os testes para uma maior quantidade de jogadores, da forma como é realizada no desenvolvimento de jogos para entretenimento.

7.4 Principais Contribuições

- Estudo e análise dos dispositivos de hardware utilizados na detecção de movimento em sistemas e jogos para a reabilitação fisioterapêutica;
- Análise objetiva dos trabalhos que utilizaram apenas o Kinect como dispositivo para captura de movimento em sistemas baseados em jogos para o tratamento fisioterapêutico, de acordo com a classificação proposta por Rego [Rego, Moreira e Reis 2010];
- Conjunto de funcionalidades necessárias para um sistema baseado em jogos para reabilitação física;
- Desenvolvimento de um sistema contendo todas as funcionalidades presentes nos trabalhos selecionados;
- Levantamento de relatos e observações a partir do teste com participantes formados em fisioterapia;
- A avaliação do sistema por profissionais de fisioterapia, gerando resultados satisfatórios sobre as funcionalidades desenvolvidas.

7.5 Sugestões para Trabalhos Futuros

Em trabalhos futuros será necessário validar a aplicação do sistema em um estudo de caso para pacientes com uma determinada patologia. Com isso, o sistema será finalizado a fim de alcançar as requisições levantadas na avaliação dos profissionais de fisioterapia. Novas

pesquisas podem ser realizadas utilizando o sistema desenvolvido para um número maior de participantes, buscando refinar e adquirir novas funcionalidades.

A utilização da nova versão do Kinect, lançada no decorrer do presente ano, também gera perspectivas de melhoria no reconhecimento de movimentos de rotação e maior acurácia na detecção dos ângulos. Para trabalhos futuros é possível utilizá-la e verificar se as atualizações de *hardware* conseguem melhorar a detecção e gerar maiores benefícios ao tratamento fisioterapêutico.

Bibliografia

[Asuncion et al. 2011]ASUNCION, H. et al. Serious game development as an iterative user-centered agile software project. *Proceeding of the 1st international workshop on Games and software engineering - GAS '11*, ACM Press, New York, New York, USA, p. 44, 2011. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1984674.1984690>>.

[Ballester 2011]BALLESTER, B. R. The effect of social gaming in virtual reality based rehabilitation of stroke patients. *International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*, p. 1–2, 2011. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5971809>.

[Bartolomé 2011]BARTOLOMÉ, N. Can game-based therapies be trusted? Is game-based education effective? A systematic review of the Serious Games for health and education. *16th International Conference on Computer Games (CGAMES)*, p. 275–282, 2011. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6000353>.

[Borghese et al. 2012]BORGHESE, N. A. et al. An integrated low-cost system for at-home rehabilitation. *2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, Ieee, p. 553–556, set. 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6365975>>.

[Burke et al. 2009]BURKE, J. W. et al. Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games. *The Visual Computer*, v. 25, n. 12, p. 1085–1099, ago. 2009. ISSN 0178-2789. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s00371-009-0387-4>>.

[Chang, Lange e Zhang 2012]CHANG, C.; LANGE, B.; ZHANG, M. Towards pervasive physical rehabilitation using Microsoft Kinect. *6th International Conference on*

- Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, p. 159–162, 2012. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6240377>.
- [Chang, Chen e Huang 2011]CHANG, Y.-J.; CHEN, S.-F.; HUANG, J.-D. A Kinect-based system for physical rehabilitation: a pilot study for young adults with motor disabilities. *Research in developmental disabilities*, Elsevier Ltd, v. 32, n. 6, p. 2566–70, 2011. ISSN 1873-3379. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21784612>>.
- [Dias, Sampaio e Taddeo 2009]DIAS, R. d. S.; SAMPAIO, I.; TADDEO, L. d. S. 2009.
- [Evelt et al. 2011]EVETT, L. et al. Dual camera motion capture for serious games in stroke rehabilitation. *2011 IEEE 1st International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, Ieee, p. 1–4, nov. 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6165460>>.
- [Fern'ndez-Baena, Susin e Lligadas 2012]FERN'NDEZ-BAENA, A.; SUSIN, A.; LLIGADAS, X. Biomechanical Validation of Upper-Body and Lower-Body Joint Movements of Kinect Motion Capture Data for Rehabilitation Treatments. *2012 Fourth International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, Ieee, p. 656–661, set. 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6338001>>.
- [Freitas et al. 2012]FREITAS, D. Q. et al. Development and Evaluation of a Kinect Based Motor Rehabilitation Game. p. 144–153, 2012.
- [Keith 2010]KEITH, C. *Agile game development with Scrum*. 1st. ed. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2010. ISBN 0321618521, 9780321618528.
- [Koster e Wright 2004]KOSTER, R.; WRIGHT, W. *A Theory of Fun for Game Design*. [S.l.]: Paraglyph Press, 2004. ISBN 1932111972.
- [Kramer et al. 2012]KRAMER, J. et al. *Hacking the Kinect*. 1 st. ed. CA, USA: Apress Berkeley,, 2012. ISBN 1430238674.
- [Kurose e Ross 2009]KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. *Computer Networking: A Top-Down Approach*. 5th. ed. USA: Addison-Wesley Publishing Company, 2009. ISBN 0136079679, 9780136079675.

- [Lange et al. 2012]LANGE, B. et al. Interactive Game-Based Rehabilitation Using the Microsoft Kinect. p. 171–172, 2012.
- [Lewis e Whitehead 2011]LEWIS, C.; WHITEHEAD, J. The whats and the whys of games and software engineering. *Proceeding of the 1st international workshop on Games and software engineering - GAS '11*, ACM Press, New York, New York, USA, p. 1, 2011. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1984674.1984676>>.
- [Michael e Chen 2006]MICHAEL, D.; CHEN, S. Serious games: games that educate, train and inform. 2006.
- [Microsoft Corporation]MICROSOFT CORPORATION. *Human Interface Guidelines*. v1.7. <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/develop/learn.aspx>.
- [Miles 2012]MILES, R. *Start Here! Learn Microsoft Kinect AP*. [S.l.]: Microsoft Press, 2012. 272 p. ISBN 978-0-7356-6394-7.
- [Nitschke 2008]NITSCHKE, B. *Professional XNA Game Programming: For Xbox 360 and Windows*. [S.l.]: Wiley Publishing, Inc., 2008. 504 p. ISBN 9780470126776.
- [Papangelis et al. 2012]PAPANGELIS, A. et al. A game system for remote rehabilitation of cerebral palsy patients. *Proceedings of the 5th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '12*, ACM Press, New York, New York, USA, p. 1, 2012. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2413097.2413121>>.
- [Rego, Moreira e Reis 2010]REGO, P.; MOREIRA, P.; REIS, L. Serious games for rehabilitation: A survey and a classification towards a taxonomy. *5th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 2010. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5556674>.
- [Rego, Moreira e Reis 2011]REGO, P.; MOREIRA, P.; REIS, L. Natural user interfaces in serious games for rehabilitation. *Information Systems and ...*, 2011. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5974331>.

- [Sawyer 2008]SAWYER, B. From cells to cell processors: the integration of health and video games. *IEEE computer graphics and applications*, v. 28, n. 6, p. 83–5, 2008. ISSN 0272-1716. Disponível em: <http://www.eric.ed.gov/ERICWebPortal/recordDetail?accno=EJ339322> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19004688>>.
- [Schild, Walter e Masuch 2010]SCHILD, J.; WALTER, R.; MASUCH, M. ABC-Sprints. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on the Foundations of Digital Games - FDG '10*. New York, New York, USA: ACM Press, 2010. p. 187–194. ISBN 9781605589374. Disponível em: http://www.uni-due.de/hk0377/papers/Schild_ABC-Sprints_Adapting_Scrum_to_Academic_Game_Development_Courses_FDG2010.pdf <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1822348.1822373>>.
- [Schonauer e Pintaric 2011]SCHONAUER, C.; PINTARIC, T. Chronic pain rehabilitation with a serious game using multimodal input. *International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*, 2011. Disponível em: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5971855>.
- [Schuytema 2008]SCHUYTEMA, P. *Game Design: Uma Abordagem Prática*. São Paulo: Cengage Learning, 2008. ISBN 9788522106158.
- [Seager et al. 2011]SEAGER, W. et al. Eliciting and modelling expertise for serious games in project management. *Entertainment Computing*, International Federation for Information Processing, v. 2, n. 2, p. 75–80, jan. 2011. ISSN 18759521. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1875952111000036>>.
- [Sugarman et al. 2009]SUGARMAN, H. et al. Use of the Wii Fit system for the treatment of balance problems in the elderly: A feasibility study. *2009 Virtual Rehabilitation International Conference*, Ieee, p. 111–116, jun. 2009. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5174215>>.
- [Teixeira, Ferreira e Santos 2012]TEIXEIRA, L.; FERREIRA, C.; SANTOS, B. S. User-centered requirements engineering in health information systems: a study in the hemophilia field. *Computer methods and programs in biomedicine*, Elsevier Ire-

land Ltd, v. 106, n. 3, p. 160–74, jun. 2012. ISSN 1872-7565. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21075471>>.

[Webb e Ashley 2011]WEBB, J.; ASHLEY, J. *Beginning Kinect Programming with the Microsoft Kinect SDK*. [S.l.: s.n.], 2011. ISBN 978-1-4302-4101-8.

[Wiki 2012]WIKI, E. I. U. *Kinect Wrapper Package for Unity3D*. v1.0. http://wiki.etc.cmu.edu/unity3d/index.php/Microsoft_Kinect_-_Microsoft_SDK, Setembro 2012.

[Wouters, Oostendorp e Spek 2010]WOUTERS, P.; OOSTENDORP, H. van; SPEK, E. D. van der. Game design: The mapping of Cognitive Task Analysis and Game Discourse Analysis in creating effective and entertaining serious games. In: *Proceedings of the 28th Annual European Conference on Cognitive Ergonomics - ECCE '10*. New York, New York, USA: ACM Press, 2010. p. 287. ISBN 9781605589466. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1962300.1962358>>.

[Yeh et al. 2012]YEH, S.-C. et al. A Study for the Application of Body Sensing in Assisted Rehabilitation Training. *2012 International Symposium on Computer, Consumer and Control*, Ieee, p. 922–925, jun. 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6228222>>.

Apêndice A

Funcionamento do Kinect

A.1 Sensores do Kinect

O Kinect é composto por três diferentes tipos de sensores, o primeiro sensor permite captar vídeo e imagens através de uma câmera RGB, o segundo é um sensor de profundidade, composto por um emissor e um receptor infravermelho para detectar as distâncias dos objetos em um ambiente. O terceiro sensor é para captar sons e direções de suas fontes, a partir de um conjunto distribuído de microfones. A Figura A.1

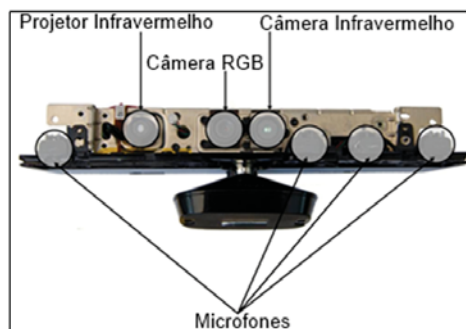


Figura A.1: Sensores do Kinect, sem a capa protetora. (Baseado em [MILES, 2012]).

A.1.1 Câmera RGB

A câmera RGB é utilizada, juntamente com o sensor de profundidade, para o reconhecimento do esqueleto humano, reconhecimento facial e captura de imagens e vídeo. Através do processamento da imagem capturada pela câmera é possível realizar detecção de outras

Tabela A.1: Modos de operação da câmera RGB do Kinect.

Modo de Operação	Descrição
InfraredResolution640x480Fps30	Dados do sensor, resolução 640x480 e taxa de 30 quadros por segundo.
RawBayerResolution1280x96012Fps	Dados Bayer, resolução de 1280x960 e 12 quadros por segundo.
RawBayerResolution640x480Fps30	Dados Bayer, resolução de 640x480 e 30 quadros por segundo.
RawYuvResolution640x480Fps15	Dados YUV, resolução de 640x480 e 15 quadros por segundo.
RgbResolution1280x960Fps12	Dados RGB, resolução de 1280x960 e 12 quadros por segundo.
RgbResolution640x480Fps30	Dados RGB, resolução de 640x480 e 30 quadros por segundo.
YuvResolution640x480Fps15	Dados YUV, resolução de 640x480 e 15 quadros por segundo.

características do cenário, manipulação de imagem e reconhecimento de cores. A câmera RGB suporta uma resolução máxima de 1280x960 a 12 quadros por segundo, ou uma taxa de atualização máxima de 30 quadros por segundo, em uma resolução de 640x480. A Tabela A.1 lista todos os modos de operação suportados pela câmera.

A.1.2 Sensor de profundidade

O Kinect permite adquirir informações do ambiente ao criar um mapa de profundidade em três dimensões a partir do sensor de profundidade (Figura A.2). Estes dados são obtidos a partir de um projetor de luz infravermelha e um sensor CMOS (*Complimentary Metal-Oxide Semiconductor*) que funcionam em conjunto para identificar a profundidade dos objetos no ambiente, independentemente das condições de iluminação (Figura A.2). O sensor de profundidade suporta uma resolução máxima de 640x480 e transmite as informações como uma imagem, exceto que ao invés de dados RGB, ele informa as distâncias para os objetos.

Para calcular as distâncias, o sensor projeta raios infravermelhos, através de pontos emitidos na área, seguindo um padrão pseudoaleatório programado mecanicamente no sensor de forma constante (Figura A.3). A imagem da câmera é comparada com as informações do sensor para que o Kinect possa calcular a distância de cada ponto com a imagem da cena, então envia para o computador ou Xbox. O Kinect em si não identificar objetos em uma

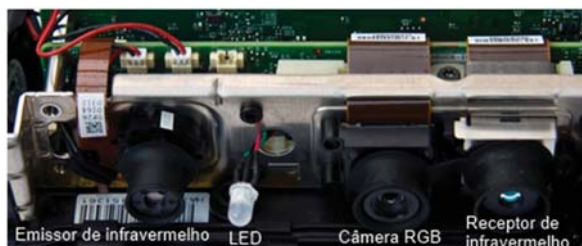


Figura A.2: Detalhes do sensor de profundidade do Kinect Projetor. Baseado em (MILES, 2012).

cena, essa tarefa é executada pelo software em um Xbox ou computador [Miles 2012].



Figura A.3: Imagem fotográfica retirada em ambiente iluminado e não iluminado, através de uma câmera com visão noturna, enquanto o Kinect estava ativo. (Baseado em: [MILES, 2012]).

O sensor de profundidade tem um campo de visão curto, já que o propósito original do Kinect seria apenas para jogos, ele mapeia uma área pequena, aproximadamente ao tamanho de uma sala de estar. No modo normal o sensor pode identificar as distâncias a partir de 0.8 metros até 4 metros (Figura A.4).

A.1.3 Array de microfones

O Kinect possui quatro microfones na parte de baixo do aparelho, onde três são localizados na extremidade direita e um na extremidade esquerda. O conjunto de microfones permite que a direção e sentido da fonte dos sons possam ser identificados, são identificados em momentos diferentes por cada microfone. O Kinect é capaz de isolar as vozes dos usuários de outros barulhos dentro do ambiente, isso permite que as pessoas possam se manter mais distantes do sensor e ainda usar comandos por voz.

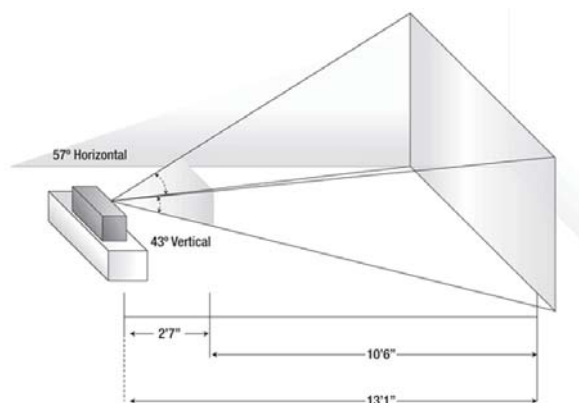


Figura A.4: Campo de visão do Kinect. (Fonte: [WEBB; ASHLEY, 2011]).

A.2 Reconhecimento de Pessoas

O Kinect conta com este conjunto de sensores, pois tem como objetivo principal ser utilizado para reconhecimento de pessoas. O hardware provê imagens da câmera, mapa de profundidade e sons do ambiente para que dispositivos como Xbox e computador possam utilizá-los para realizar interação com os utilizadores. O software executando nos dispositivos conectados ao Kinect utilizam as informações da imagem e profundidade para reconhecer o corpo humano a partir das características como o alinhamento das partes e a movimentação para identificá-las. A Figura A.5 demonstra a capacidade de detecção do Kinect, que pode identificar até dois esqueletos e 21 pontos que simbolizam as articulações, além de identificar a localização de quatro pessoas na cena [Microsoft Corporation].

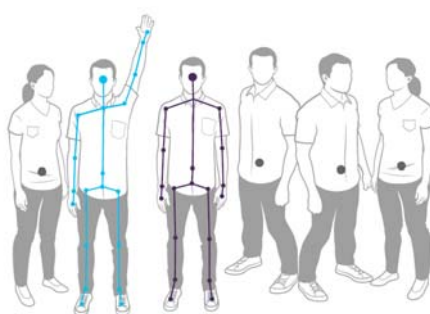


Figura A.5: Capacidade de identificação de pessoas do Kinect.

A partir do pacote de desenvolvimento para Kinect disponibilizado pela Microsoft, é possível utilizar as informações capturadas pelos sensores, tais como as imagens capturadas pela câmera (*ColorImageStream*), o mapa de profundidade (*DepthStream*), as fontes de sons

(KinectAudioSource) e o reconhecimento do posicionamento e das partes do corpo (*SkeletonStream*). O reconhecimento do posicionamento e das partes do corpo é realizado a partir do processamento dos dados de profundidade e imagem a partir de diversos algoritmos, como transformações de matrizes e *machine learning* para estabelecer a posição das várias partes do corpo [Webb e Ashley 2011].

Apêndice B

Sistemas Comerciais para Reabilitação Fisioterapêutica com o Kinect

Além das pesquisas acadêmicas publicadas que buscaram desenvolver e avaliar os benefícios dos sistemas baseados em jogos para tratamento fisioterapêutico com o Kinect, também é possível encontrar iniciativas de empresas privadas buscando explorar comercialmente tais recursos para auxiliar a reabilitação física. Alguns dos sistemas comerciais que possuem tal proposta são o *ReMotion360* desenvolvido pela *InfoStrat*, o *Reflexion*, desenvolvido pela *West Health Institute* e o *SeeMe* desenvolvido pela *Brontes Processing*.

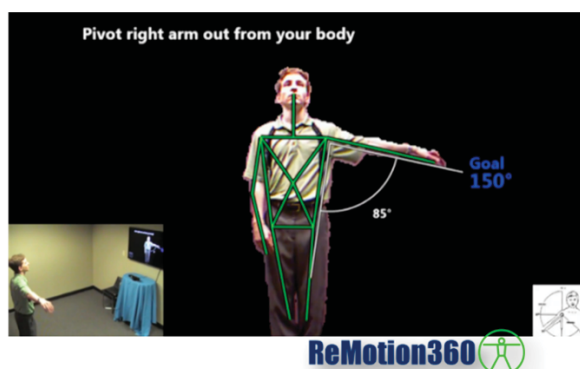


Figura B.1: Medição do ângulo durante o movimento de abdução do braço esquerdo.

O *Remotion360* (Figura B.2) propõe calcular a angulação entre as articulações para 11 movimentos diferentes para auxiliar a reabilitação física realizada em casa ou em clínicas. É um sistema desenvolvido pela *InfoStrat* e atualmente encontra-se apenas em fase de demonstração. O *Reflexion* (Figura B.1) é um sistema mais completo que propõe realizar a

reabilitação física mediada e controlada por um profissional de saúde remotamente. O sistema busca auxiliar a reabilitação ao acompanhar e educar a realização dos exercícios e a postura dos pacientes, o suporte do fisioterapeutas permite revisar a sessão do paciente remotamente, podendo definir as próximas sessões. Está sendo desenvolvido no *West Health Institute* e atualmente se encontra no período de testes Beta.

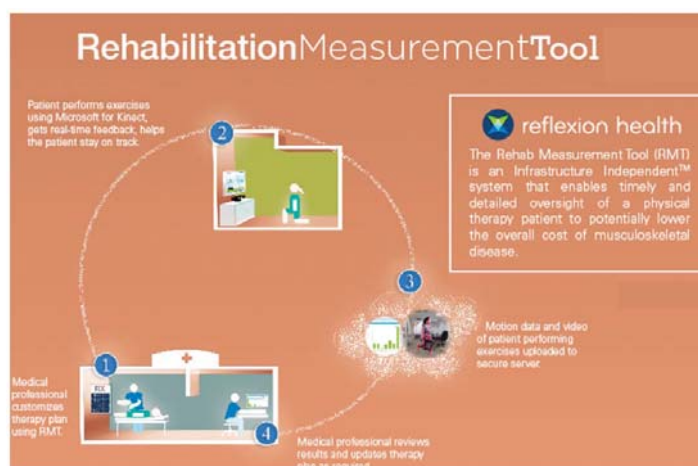


Figura B.2: Reflexion

O *SeeMe* (Figura B.3) utiliza diversos jogos para motivar o paciente a executar os exercícios de reabilitação física. Possui módulos de gerenciamento e progressão para a execução de tarefas. O sistema propõe o acompanhamento dos jogos junto a um profissional de fisioterapia durante a execução das sessões.

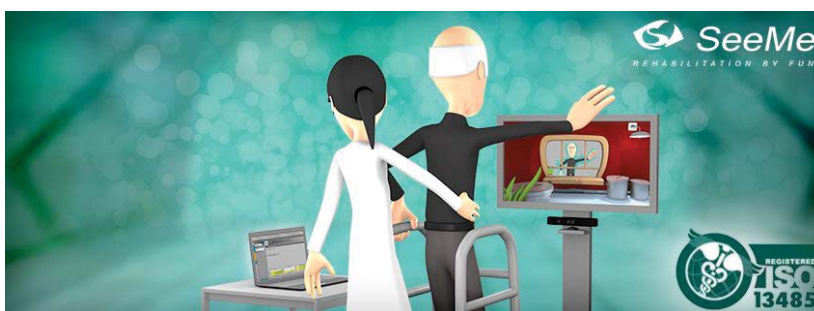


Figura B.3: SeeMe

Apêndice C

Questionário Avaliativo

Questionário Avaliativo para Fisioterapeutas após a Aplicação do jogo

Responsável: Rômulo Costa de Menezes Júnior

Instituição: UFPB

Curso: Mestrado em Computação

Título da dissertação: Avaliação das Funcionalidades de um Sistema Baseado em Jogos para Gerenciamento e Acompanhamento Remoto de Terapia para Reabilitação Motora

Objetivo da Pesquisa: Este trabalho tem como objetivo avaliar o sistema que foi desenvolvido para auxiliar a reabilitação fisioterapêutica, em relação aos jogos para motivar os exercícios de reabilitação e ao sistema de gerenciamento e acompanhamento remoto do tratamento, por meio de uma avaliação objetiva de profissionais de fisioterapia.

0. INFORMAÇÕES PESSOAIS

Nome: _____ Sexo: () Feminino () Masculino

Curso: _____ Instituição: _____ Período: _____

Já participou de cursos ou treinamentos sobre fisioterapia e jogos? _____

Data do preenchimento do questionário: __/__/__ Horário: __:__

1. DINÂMICA DO JOGO

Nº	Pergunta	1	2	3	4	5
1.1	Como você avalia a facilidade de jogar?	Muito difícil	Difícil	Normal	Fácil	Muito fácil
1.2	Como você avalia os desafios do jogo?	Não desafiador	Pouco desafiador	Normal	Desafiador	Muito desafiador
1.3	Como você avalia o nível de interação proporcionado pelo jogo?	Não interativo	Pouco interativo	Normal	Interativo	Muito interativo
1.4	Como você avalia a diversão proporcionada pelo jogo?	Não divertido	Pouco divertido	Normal	Divertido	Muito divertido
1.5	Como você avalia os cenários e ambientes do jogo?	Não adequados	Pouco adequados	Normal	Adequados	Muito adequados
1.6	Como você avalia o sistema de recompensa do jogo? (Sistema de pontuação/Sons e <i>Record</i>)	Não é motivante	Pouco motivante	Normal	Motivante	Muito motivante
1.7	Observações					

2. QUESTÕES SOBRE A FISIOTERAPIA

Nº	Pergunta	1	2	3	4	5
2.1	Como você avalia o controle do jogo a partir do movimento: - Ombro; - Plano Coronal; - Abdução/Adução Vertical.	Não conseguiu controlar	Pouco controle	Normal	Muito Controle	Controle completo
2.2	Como você avalia o controle do jogo a partir do movimento: - Ombro; - Plano Sagital; - Flexão/Extensão Vertical ou Abdução/Adução Vertical.	Não conseguiu controlar	Pouco controle	Normal	Muito Controle	Controle completo
2.3	Como você avalia o controle do jogo a partir do movimento: - Ombro; - Plano Transversal; - Flexão/Extensão Horizontal ou Adução/Abdução Horizontal.	Não conseguiu controlar	Pouco controle	Normal	Muito Controle	Controle completo
2.4	Como você avalia o controle do jogo a partir do movimento: - Ombro; - Rotação Externa e Interna.	Não conseguiu controlar	Pouco controle	Normal	Muito Controle	Controle completo
2.5	Como você avalia a função fisioterapêutica presente no jogo?	Não efetiva	Pouco efetiva	Normal	Efetiva	Muito efetiva
2.6	Como você avalia os desafios presentes no jogo em relação ao tratamento fisioterapêutico?	Não compatível	Pouco compatível	Normal	Compatível	Muito compatível
2.7	Você acredita que o jogo pode ajudar a executar corretamente os movimentos? Por quê?					
2.8	Você acredita que o jogo pode melhorar a motivação para que pacientes possam fazer exercícios de fisioterapia? Por quê?					
2.9	Observações.					

3. QUESTÕES SOBRE GERENCIAMENTO E ACOMPANHAMENTO REMOTO

Nº	Pergunta	1	2	3	4	5
3.1	Como você avalia a ferramenta de gerenciamento da terapia? (Configuração do movimento, ângulo, plano e tempo)	Não é útil	Pouco útil	Normal	Útil	Muito útil
3.2	Você sentiu falta de alguma opção para especificar a terapia para um paciente?					
	Pergunta	1	2	3	4	5
3.3	Como você avalia a ferramenta para acompanhamento remoto da terapia?	Não é útil	Pouco útil	Normal	Útil	Muito útil
3.4	Você sentiu falta de alguma funcionalidade no relatório para acompanhar como se deu a terapia de um paciente?					
3.5	Você utilizaria este sistema auxiliar no tratamento de reabilitação em pacientes? Por quê?					

Apêndice D

Ferramental Utilizado

D.1 XNA

Para o desenvolvimento do jogo de movimentos específicos foi utilizado o motor de jogos XNA. Ele é um motor para o desenvolvimento de jogos integrado ao VS que foi projetado para fornecer uma arquitetura comum à estes produtos, além de conseguir construir para diversas plataformas da Microsoft (Windows, Xbox360 e Windows Phone). Nitschke [Nitschke 2008] analisa este motor de jogos em três camadas essenciais: motor gráfico, modelo de aplicação do jogo e pipeline de conteúdo (Figura D.1):

O motor gráfico é responsável por realizar chamadas internas para o DirectX e simplificar as função de chamada para placa gráfica. O modelo de aplicação do jogo é onde o desenvolvedor irá encontrar as principais classes e métodos disponibilizados pelo XNA. O *pipeline* de conteúdo é utilizado para importar, compilar e carregar recursos do jogo como imagens, texturas, modelos 3D, *shaders* e arquivos de som para o projeto de jogo (Figura D.2). Ele reduz a quantidade de código que deveria ser escrito para inserir arquivos de diversos formatos para poderem ser utilizados a qualquer momento no jogo.

No modelo de aplicação é possível utilizar todos os recursos criados para facilitar o desenvolvimento de jogos, como o gerenciamento de entrada, manipulação de som, animação de imagens, trabalhar com ambientes e modelos 3D, dentre outros recursos. Dentro da estrutura do modelo de aplicação, o fluxo de execução para os elementos presentes em um jogo no XNA é a seguinte: carregamento de conteúdo, inicialização, atualização, desenho e descarregamento. A Figura D.3 ilustra o fluxo de execução de tais métodos no XNA.

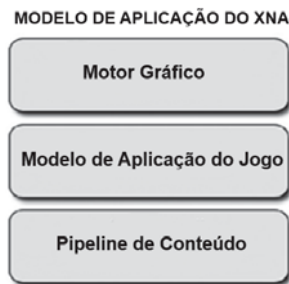


Figura D.1: Modelo de componentes do motor de jogo XNA. Fonte: (NITSCHKE, 2008).

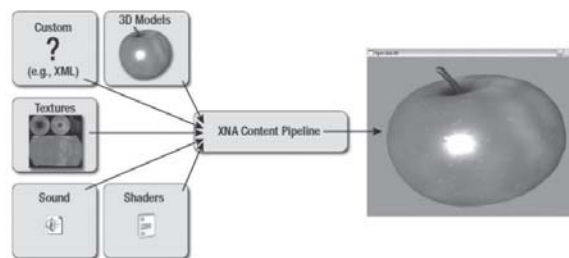


Figura D.2: Pipeline de conteúdo. Fonte: (NITSCHKE, 2008)

O método *Initialize* é responsável por iniciar todas as variáveis e recursos que o jogo necessita, o método *Update* é onde a lógica do jogo é realizada, como a atualização dos componentes, transição de animações, execução dos algoritmos de inteligência artificial e detecção de colisão, por exemplo. Os jogos possuem componentes e estados que são modificados no decorrer de sua execução, tais como, a atualização da posição de um objeto, mostrar uma tela de abertura, modificações de cenário ou mesmo uma alteração de condição dos personagens. É durante a execução do método *Update* de cada componente que estes estados são alterados.

D.2 Unity3D

O motor de jogos Unity3D foi utilizado no desenvolvimento do jogo para movimentos variados. Este motor de jogos permite a fácil integração de material artístico ao ambiente de desenvolvimento, é baseado na criação de cenas, onde os elementos presentes na cena sejam controlados por *scripts* do desenvolvedor ou componentes do próprio motor. Tal funcionamento permite utilizar componentes para simulação física prontos, além de diversos outros componentes de áudio e colisão.

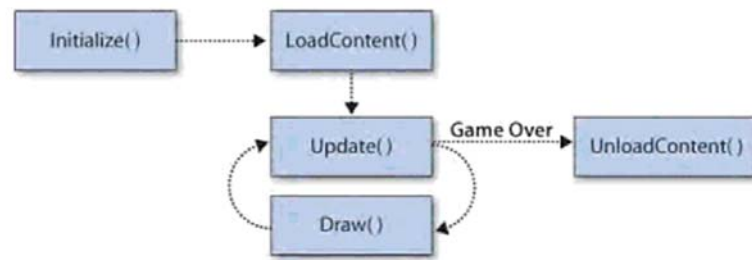


Figura D.3: Ciclo de vida completo de um jogo XNA, métodos Update e Draw formando um loop do jogo. Fonte: (REED, 2010 - p. 20).

A arquitetura e o ambiente de desenvolvimento em três dimensões facilita a construção de jogos. Tal ambiente tem como característica a fácil visualização dos elementos do jogo, à medida que são construídos, facilitando o desenvolvimento. De acordo com Xie (XIE, 2012), os três principais elementos estruturais que compõe a arquitetura do Unity3D são: modelo baseado em componentes, a programação orientada a evento e o conjunto de classes internas fornecidas pelo motor.

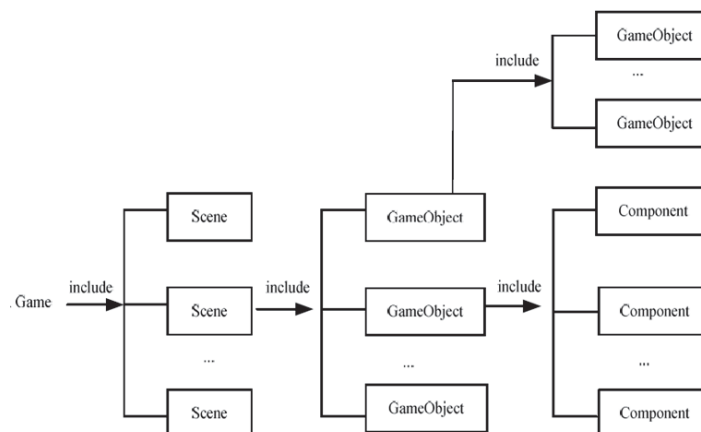


Figura D.4: Hierarquia do projeto de um jogo no Unity3D. Fonte: (XIE, 2012)

O modelo baseado em componentes forma uma arquitetura escalável para a construção de vários jogos, um determinado cenário pode ser representado através da entidade *Scene*, e todos os objetos contidos dentro deste derivam de uma entidade única chamada de *GameObject*. O comportamento de um *GameObject* ou de uma entidade filha, através de herança, pode ser personalizado, gerando assim os diferentes elementos do jogo. A Figura D.4 ilustra como a hierarquia de um jogo é representada pelo Unity3D. Uma *Scene* pode ser um mapa, cenário ou um simples ambiente. O comportamento dos elementos de um jogo é realizado

através da composição de *scripts*, criados pelo desenvolvedor ou já fornecidos pelo motor de jogo, como mostrado na Figura D.5.

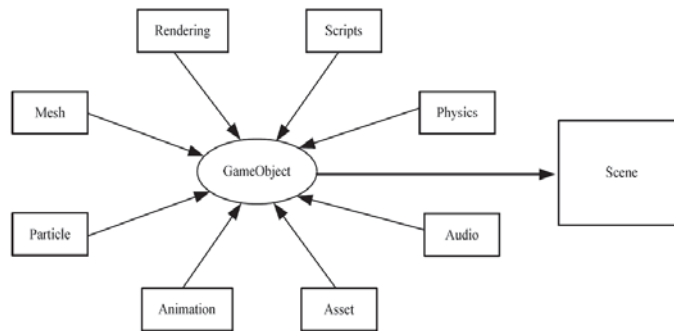


Figura D.5: Modelo de componente no Unity3D. Fonte: (XIE, 2012)

Além dos componentes existentes no motor de jogo, o comportamento dos elementos foi controlado através de *scripts*, para manipular a comunicação com o Kinect, a interação com a bola e a dinâmica do jogo. Um *script* herda os métodos de uma classe existente no Unity, chamada *MonoBehavior* e utilizam um modelo orientado a evento para realizar a atualização de cada componente do jogo. Existem 51 métodos que um *script* poderá sobrescrever para agirem a partir de um determinado evento, que pode ser desde a atualização a cada quadro até erros de conexão em rede. A Figura D.6 ilustra as principais funções que são sobrescritas para construção de um script.

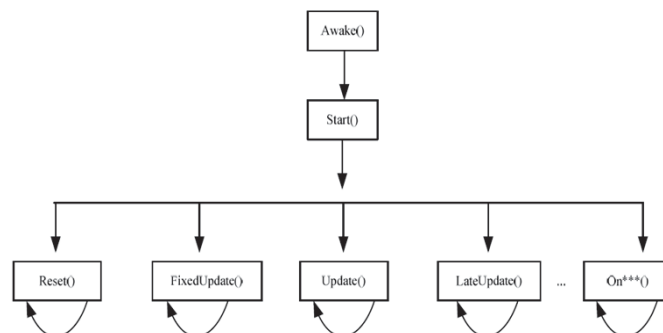


Figura D.6: Modelo orientado a evento. Fonte: Fonte: (XIE, 2012)